



**TUGAS AKHIR - SF141501**

**RANCANG BANGUN *DIRECTIONAL COUPLER*  
KONFIGURASI 3×3 PLANAR *MULTIMODE STEP-INDEX*  
*FIBER OPTIC* SEBAGAI SENSOR KEMOLARAN dan pH**

**ALOYSIUS NIKO  
NRP. 1112 100 018**

**Dosen Pembimbing  
Drs. Gontjang Prajitno, M.Si**

**Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**



**FINAL PROJECT - SF141501**

**DESIGNING OF *DIRECTIONAL COUPLER*  $3 \times 3$   
PLANAR CONFIGURATION WITH *MULTIMODE*  
*STEP-INDEX FIBER OPTIC* AS MOLARITY and  
pH SENSORS**

**ALOYSIUS NIKO  
NRP 1112 100 018**

**Supervisor  
Drs.Gontjang Prajitno, M.Si**

**Physics Departement  
Faculty of Mathematics and Science  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2016**

## LEMBAR PENGESAHAN

### **RANCANG BANGUN *DIRECTIONAL COUPLER* KONFIGURASI 3×3 PLANAR *MULTIMODE STEP-INDEX* *FIBER OPTIC* SEBAGAI SENSOR KEMOLARAN dan pH**

#### **TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Sains

pada

Bidang Studi Optoelektronika

Program Studi S-1 Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Aloysius Niko**

**1112 100 018**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

**Drs. Gontjang Prajitno, M.Si**



**SURABAYA, JUNI 2016**

# **RANCANG BANGUN *DIRECTIONAL COUPLER* KONFIGURASI 3×3 PLANAR MULTIMODE STEP-INDEX FIBER OPTIC SEBAGAI SENSOR KEMOLARAN dan pH**

**Nama Penulis : Aloysius Niko**  
**NRP : 1112 100 018**  
**Jurusan : Fisika FMIPA-ITS**  
**Pembimbing : Drs. Gontjang Prajitno, M.Si**

## **Abstrak**

*Dalam penelitian diperlukan keakurasian tinggi, salah satunya adalah dalam mendeteksi kemolaran serta pH dari suatu larutan. Dalam penelitian ini telah dilakukan rancang bangun Directional Coupler (DC) konfigurasi 3x3 planar step index multimode fiber optic tipe FD-620-10 dengan panjang kupasan 60 mm, menggunakan pendekatan metode Fused Biconical Tapered (FBT) sebagai sensor kemolaran dan pH. Larutan uji yang digunakan adalah Larutan NaCl, Larutan Asam Sitrat dan Larutan Glukosa, dengan masing – masing variasi kemolaran 0 M (aquades), 1 M, 2 M, 3 M, 4 M, dan 5 M, untuk penelitian sebagai sensor kemolaran, lalu larutan HCl 0.1 s.d 0.00625 N dan NaOH 0.1 s.d 0.00625 N untuk penelitian sebagai sensor pH. Dengan menggunakan BF5R-D1-N sebagai sensor cahaya, DC 3x3 dikarakterisasi untuk mengetahui daya keluaran dari serat optik dengan perubahan konsentrasi larutan dan perubahan pH. Dari hasil karakterisasi, didapatkan hasil berupa hubungan konsentrasi larutan dan pH dengan daya pada output, yaitu semakin tinggi molaritas dan semakin asam dan basa suatu larutan maka akan semakin rendah daya intensitas cahaya dari serat optik, akibat adanya perubahan indeks bias pada cladding. Dengan adanya DC 3x3 sebagai sensor ini, mampu mengkarakterisasi larutan dengan tiga buah variasi jenis larutan sekaligus, sehingga meningkatkan efisiensi Directional Coupler sebagai sensor pH dan kemolaran..*

**Kata Kunci:** *daya intensitas cahaya, directional coupler 3x3, molaritas, pH, sensor*

# **DESIGNING OF *DIRECTIONAL COUPLER* 3×3 PLANAR CONFIGURATION WITH *MULTIMODE STEP-INDEX FIBER OPTIC* AS MOLARITY and pH SENSORS**

**Author** : Aloysius Niko  
**Student Identity** : 1112 100 018  
**Department** : Physics, Faculty of Mathematics  
And Sciences -ITS  
**Supervisor** : Drs. Gontjang Prajitno, M.Si.

## **Abstract**

*In research, it is needed methods with high accuracy, one of them is to detect molarity and pH. Research about designing of Directional Coupler (DC) 3x3 planar configuration of step-index multimode FD-620-10 type as molarity and pH sensor has been conducted with peeling length 60 mm, with method used is Fused Biconical Tapered (FBT). The solution that is used in this research are NaCl solution, Citric Acid Solution and Glucose Solution, with variety of molarity 0M (aquades), , 1 M, 2 M, 3 M, 4 M, dan 5 M respectively, for molarity's sensor. Then, HCl 0.1 s.d 0.00625 N and NaOH 0.1 s.d 0.00625 N for pH's sensor. BF5R-D1-N is used as light sensor, and the characterization of DC 3x3 is used to find the ouput power of fiber optic with molarity and pH of solutions. From the result of characterizations, it is found that the higher molarity and more acid and basic of the solutions, the light power intensity is lower, because of refractive index has changed. With this DC 3x3 as sensor, it can characterize three solutions respectively, and will improve the efficiency of directional coupler as molarity and pH's sensor.*

***Keywords: directional coupler 3x3, light power intensity, molarity, pH, sensor.***

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xiv</b>

## BAB I PENDAHULUAN

1.1	Latar Belakang .....	1
1.2	Permasalahan .....	2
1.3	Tujuan Penelitian .....	3
1.4	Batasan Masalah .....	3
1.5	Manfaat Penelitian .....	3
1.6	Sistematika Laporan .....	3

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1	Serat Optik .....	5
2.2	Sistem Pemanduan Gelombang Cahaya .....	7
2.3	Penjalaran Gelombang EM dalam serat optik.....	5
2.4	<i>Directional Coupler</i> .....	13
2.5	Karakteristik Pada <i>Directional Coupler 3x3</i> .....	15
2.6	Parameter Utama dalam <i>Directional Coupler</i> .....	18
2.7	Rugi Daya .....	19
2.8	Hubungan Molaritas dengan Indeks Bias .....	20
2.9	Gelombang <i>Evanescent</i> .....	21
2.10	pH Asam dan Basa .....	22

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1	Peralatan dan Bahan .....	25
3.2	Diagram Kerja penelitian .....	26
3.3	Prosedur Kerja .....	26
3.3.1	Preparasi <i>Directional Coupler 3x3</i> .....	27
3.3.1.1	Preparasi Serat Optik .....	27
3.3.1.2	Tahap Fabrikasi DC 3x3.....	29
3.3.1.3	Tahap Karakterisasi DC 3x3 .....	31
3.3.2	Preparasi Larutan Uji.....	32
3.3.3	Tahap Pengukuran Sensor Molar dan pH .....	33

### **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

4.1	Analisa Hasil Fabrikasi dan Karakterisasi DC 3x3	
4.1.1	Analisa Hasil Fabrikasi DC 3x3 dengan Mikroskop Logam .....	35
4.1.2	Analisa Hasil Karakterisasi DC 3x3 dengan BF5R-D1-N .....	37
4.2	Analisa Hasil Pengukuran Daya Keluaran terhadap Konsentrasi dan pH larutan .....	40
4.2.1	Analisa Hasil Pengukuran Daya Keluaran terhadap Konsentrasi larutan .....	40
4.2.2	Analisa Hasil Pengukuran Daya Keluaran terhadap pH Larutan .....	48

### **BAB V SIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Simpulan .....	53
5.2	Saran .....	53

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>55</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>57</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>81</b>





## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Jenis Larutan dan Indeks Bias .....	21
Tabel 4.1	Hasil <i>output</i> cahaya pada <i>directional coupler</i> 3x3.....	38
Tabel 4.2	Hasil Parameter <i>Directional Coupler</i> .....	38
Tabel 4.3	Hasil Pengukuran Daya Keluaran terhadap Konsentrasi Larutan. ....	41
Tabel 4.4	Hasil Pehitungan NA, $\theta_{0max}$ , V, M. ....	44
Tabel 4.5	Hasil Pengukuran Daya Keluaran terhadap pH Larutan. .....	48

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Struktur Dasar Serat Optik ....	5
<b>Gambar 2.2</b>	Struktur Serat Optik <i>Multimode Step Index dan Gradded Index</i> .....	6
<b>Gambar 2.3</b>	Proses Pemanduan cahaya pada bidang batas dua medium .....	7
<b>Gambar 2.4</b>	Geometri serat optik dalam koordinat silinder .....	10
<b>Gambar 2.5</b>	Distribusi radial amplitudo medan di <i>core</i> dan <i>cladding</i> .....	12
<b>Gambar 2.6</b>	Proses Pembagian Berkas Pada Kopling.....	15
<b>Gambar 2.7</b>	Dua tipe konfigurasi coupler 3×3 ...	17
<b>Gambar 2.8</b>	Hubungan Molaritas Terhadap Indeks Bias .....	20
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian .....	26
<b>Gambar 3.2</b>	Diagram Alir Preparasi DC 3x3 .....	27
<b>Gambar 3.3</b>	Hasil Pengupasan Kabel Serat Optik ...	28
<b>Gambar 3.4</b>	Hasil Foto Mikroskopik Serat Optik <i>Port B</i> panjang kupasan 60 mm.....	29
<b>Gambar 3.5</b>	Proses Pemolesan Directional Coupler 3x3 .....	30
<b>Gambar 3.6</b>	Proses Penggandengan Directional Coupler 3x3 .....	30
<b>Gambar 3.7</b>	Hasil Fabrikasi Directional Coupler 3x3.....	31
<b>Gambar 3.8</b>	Proses Karakterisasi DC3x3.....	32
<b>Gambar 3.9</b>	Preparasi Larutan Uji Molaritas dan pH	33
<b>Gambar 3.10</b>	Proses Pengukuran Rugi Daya dengan molaritas larutan .....	34

<b>Gambar 3.11</b>	Proses Pengukuran Rugi Daya dengan normalitas larutan .....	34
<b>Gambar 3.12</b>	Skema Kerja Penelitian .....	34
<b>Gambar 4.1</b>	Hasil Foto Struktur Directional Coupler 3x3 Panjang Kupasan 60 mm..	33
<b>Gambar 4.2</b>	Hasil Foto Struktur Directional Coupler 3x3 Panjang Kupasan 60 mm dengan laser.....	34
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik Hubungan Molaritas Larutan dengan Daya Output.....	47
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik Hubungan pH Larutan dengan Daya Output.....	49

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>LampiranA</b>	Hasil Karakterisasi DC 3x3.....	57
<b>LampiranB</b>	Hasil Pengukuran Rugi Daya.....	61
<b>LampiranC</b>	Datasheet BF5R-D1-N .....	77

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dengan semakin berkembangnya teknologi, dibutuhkan proses penelitian yang akurat. Pada proses penelitian, khususnya dalam pembuatan beragam jenis larutan, dibutuhkan akurasi dalam hal molaritas dan pH. Namun, untuk mengetahui kemolaran suatu jenis larutan masih belum banyak diproduksi untuk skala laboratorium. Kemudian, untuk mengukur pH juga memiliki beberapa kekurangan pula, misalnya kertas lakmus kurang sensitif dan kurang akurat, dan dengan pH meter elektrik memiliki nilai yang sering beresilasi dan lambat dalam pengujian. Dengan demikian, dibutuhkan solusi sensor untuk dapat mengetahui jumlah kemolaran serta pH dari larutan yang dapat difabrikasi dan digunakan dalam skala laboratorium.

Kemudian, saat ini semakin berkembang pula sistem komunikasi serat optik dan salah satu diantaranya adalah *fiber coupler*. Di samping sebagai divais optik, *coupler* khususnya *directional coupler* yang umumnya berupa jenis serat optik *singlemode* maupun *multimode* juga dapat dimanfaatkan sebagai sensor pergeseran mikro dengan basis modulasi intensitas (Samian, 2008). Keunggulan utama serat optik sebagai sensor adalah tidak memerlukan adanya kontak langsung dengan objek pengukuran, tidak menggunakan arus listrik, serta akurasi pengukuran yang tinggi, dan tidak terpengaruh oleh medan listrik maupun medan magnet (Iga, 1982). Prinsip kerja dari serat optik sebagai sensor ini berbasis pada modulasi panjang gelombang, modulasi intensitas, dan modulasi fase cahaya sebagai isyarat (Pramono, 2008).

Fabrikasi *directional coupler singlemode* maupun *multimode* berbentuk pandu gelombang *slab* masih sangat sulit dilakukan dan membutuhkan peralatan dengan biaya yang relatif mahal. Sementara itu, *directional coupler* serat optik diperlukan untuk sensor dan perangkat interferometri serat optik masih cukup

susah diperoleh dipasaran. Untuk mengatasi kendala tersebut telah dilakukan fabrikasi *directional coupler* dari bahan serat optik multimode dengan diameter serat 0.5 mm menggunakan metode *fused biconal tapered* dengan metode konvensional (Supadi, 2006).

Pemilihan serat optik dengan diameter *core* yang cukup besar karena jenis serat optik ini dapat digunakan sebagai sensor pergeseran yang berbasis pada modulasi intensitas, seperti pada penelitian yang telah dilakukan oleh (Mubasiroh, 2013), dengan cara memanfaatkan *directional coupler* dan *double coupler* sebagai sensor pergeseran berdimensi mikro (Mubasiroh, 2013). Selain digunakan sebagai sensor pergeseran, *directional coupler* dan *double coupler* juga mampu dimanfaatkan sebagai sensor kemolaran, dalam hal ini contohnya adalah larutan NaCl (Megawati, 2013) dan serat optik untuk sensor pH (Kholilah, 2010).

Berdasarkan penelitian (Yaqin, 2015), telah didapatkan bahwa *directional coupler 3x3 planar* dengan panjang kupasan  $\geq 60$  mm mampu menjadi sensor dan *power divider* yang baik. Untuk mengembangkan penelitian tersebut, maka dilakukan uji penelitian sensor *directional coupler 3x3* untuk mengkarakterisasi kemolaran larutan NaCl. Pada penelitian ini, akan digunakan *directional coupler* dan *double coupler* difabrikasi menggunakan bahan serat optik plastik (POF) *step index multimode* tipe FD-620-10 dengan metode *Fused Biconical Tapered* (FBT) pada variasi panjang kupasan yaitu 60 dan 63 mm. . Larutan uji yang digunakan adalah larutan NaCl yang digunakan adalah dengan variasi konsentrasi 0 M (aquades), 1 M - 5 M, , lalu Larutan Gula 1 M – 5 M, dan Larutan asam sitrat dengan konsentrasi 1 M – 5 M. Kemudian, larutan HCl 0.1 N dan NaOH 0.1 N untuk sensor pH. Sensor ini diharapkan mampu menjadi sensor kandungan material dalam air di masa mendatang.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana fabrikasi dan karakterisasi *directional coupler 3x3 step index multimode* ?
2. Bagaimana pengaruh daya keluaran terhadap konsentrasi dan pH larutan dilakukan?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah

1. Untuk mengkarakterisasi dan uji sensor *directional coupler 3x3 step index multimode* tipe FD-620-10 untuk sensor kemolaran dan pH.
2. Untuk mengetahui pengaruh daya keluaran pada *directional coupler 3x3* sebagai sensor kemolaran dan pH.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah Pada penelitian ini, permasalahan dibatasi pada pembentukan *directional coupler 3x3 step index multimode* tipe FD-620-10 pada panjang kupasan 60 mm, dan larutan uji yang digunakan yaitu NaCl 1 M, 2 M, 3 M, 4M, dan 5 M, *aquades*, Larutan HCL 0.1 s.d 0.00625 N, Larutan NaOH 0.1 s.d 0.00625 N, Larutan asam sitrat 1 M, 2 M, 3 M, 4M, dan 5 M, dan Larutan Glukosa 1 M, 2 M, 3 M, 4M, dan 5 M. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan sensor BF5R-D1-N.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah hasil karakterisasi dari rugi-rugi serat optik tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sensor konsentrasi dan pH larutan di masa mendatang, baik untuk sensor salinitas dan kandungan logam berat di dalam larutan dan lainnya.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bab I – Pendahuluan, berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan penelitian.
2. Bab II – Tinjauan Pustaka, berisi uraian mengenai teori yang mendukung analisis.
3. Bab III – Metodologi Penelitian, berisi waktu dan tempat penelitian, data penelitian, alat yang digunakan dalam penelitian, serta uraian mengenai metode-metode dan tahapan-tahapan yang dilakukan selama penelitian.
4. Bab IV – Analisa Data dan Pembahasan, menjelaskan tentang hal-hal yang didapat selama penelitian, hal ini berkaitan dengan *daya output* yang terlihat atas penurunan *daya output* akibat konsentrasi larutan dan pH.
5. Bab V – Penutup, berisi uraian mengenai simpulan dari hasil analisa data dan pembahasan serta saran-saran untuk mendukung hasil penelitian.
6. Lampiran, berisi data – data yang digunakan dalam penelitian beserta beberapa gambar yang menunjang penelitian ini.

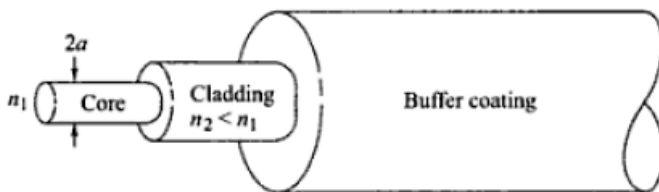


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Serat Optik

Serat optik merupakan salah satu *device* pandu gelombang yang menggunakan medium dielektrik dan umumnya bekerja sebagai media transmisi gelombang cahaya dengan berbentuk silinder. Serat optik dapat terbuat dari bahan plastik atau kaca. Secara umum, sesuai dengan gambar 2.1, serat optik terdiri dari tiga bagian utama, yakni inti (*core*), kulit (*cladding*), dan jaket (*coating*). Bagian *core* merupakan saluran utama pada pemanduan gelombang cahaya yang mempunyai indeks bias terbesar ( $n_1$ ), sedangkan untuk bagian *cladding* mempunyai indeks bias ( $n_2$ ) yang memiliki nilai lebih rendah daripada  $n_1$ . Kemudian, bagian terluar dari serat optik (*coating/jacket*) berfungsi sebagai pelindung *core* dan *cladding* (Keiser, 1984). Struktur dasar penyusun serat optik ditunjukkan dengan gambar 2.1 dibawah ini.

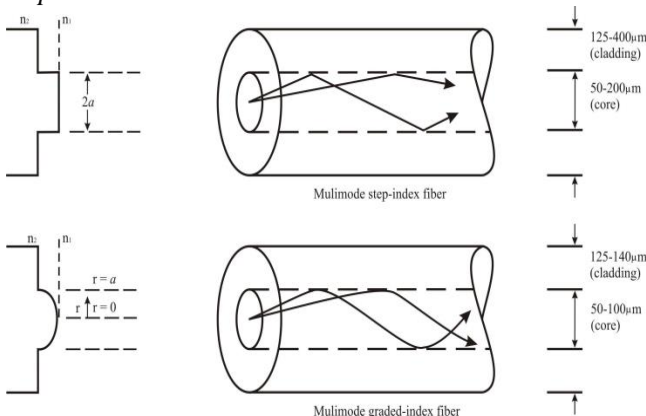


Gambar 2.1 Struktur Dasar Serat Optik (Keiser, 1984)

Dari gambar 2.2 dapat terlihat beberapa jenis serat optik. Hal ini terbagi berdasarkan beberapa hal. Pertama, berdasarkan struktur dan sifat transmisinya, serat optik dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu serat optik moda tunggal (*single mode fiber*) dan serat optik moda jamak (*multimode fiber*) (Keiser, 1984). Pada serat optik moda tunggal, ukuran inti lebih kecil sehingga pada serat hanya dapat menjalar satu moda, kemudian, pada serat

optik moda jamak, moda yang menjalar dalam serat lebih dari satu, serta berdasarkan ukuran, skala ukuran dari serat optik moda tunggal menggunakan mikrometer, sedangkan untuk serat optik moda jamak adalah milimeter

Selanjutnya, berdasarkan penjalaran gelombang yang melalui bagian inti, serat optik juga dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu serat optik *step index* dan serat optik *graded-index*. Jika *core* (inti) terbuat dari bahan yang homogen / sejenis dengan demikian indeks bias dari bahan tersebut menjadi serba sama ( $n_1$ ) dan terjadi perubahan indeks bias secara tidak tentu antara *core* dan *cladding*, maka ini merupakan jenis serat optik *step-index*.



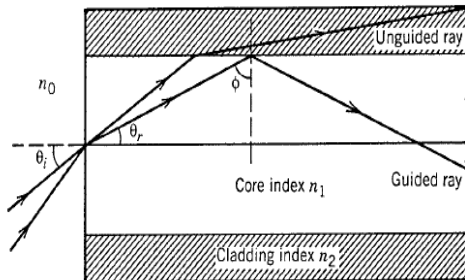
Gambar 2.2 Struktur serat optik multimode *step-index* dan *graded-index* (Keiser, 1984)

Proses pemanduan cahaya pada *step-index* ini dirambatkan melalui *core* dengan cara pemantulan dalam total (Leno, 1993). Untuk terjadi pemantulan dalam total (*total internal reflection*), maka perbedaan indeks bias antara *core* dan *cladding* harus diatur sehingga memiliki selisih yang besar.

Perbandingan struktur serat optik *multimode step-index* dan *graded-index* serta distribusi indeks bias dapat diperlihatkan pada Gambar 2.2 (Tricker, 2002).

## 2.2 Sistem Pemanduan Gelombang Cahaya dalam Serat Optik

Sistem pemanduan gelombang cahaya dalam serat optik, didasarkan pada prinsip pemantulan dalam total pada bidang batas *core* dan *cladding* menggunakan hukum Snellius. Untuk memudahkan pemahaman mekanisme pemanduan gelombang cahaya dalam serat optik *step-index*, digunakan teori perambatan sinar pada bidang batas dua medium berbeda, untuk menggambarkan perambatan muka gelombang cahaya seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Proses pemanduan cahaya dalam pantulan dalam total dalam dua medium berbeda (Agrawal, 2002)

Dari gambar 2.3 di atas, dapat dibuat persamaan menurut Hukum Snellius sebagai berikut :

$$n_0 \sin \theta_i = n_1 \sin \theta_r \quad (2.1)$$

Saat sinar datang dengan sudut  $\theta_i$  karena adanya refraksi akibat perbedaan medium udara dengan serat optik, maka sinar akan berbelok menuju garis normal dengan sudut bias  $\theta_r$ , dengan  $n_0$  adalah indeks bias udara dan  $n_1$  adalah indeks bias serat optik. Sinar yang terefraksi ini akan mengalami refraksi kembali di sepanjang permukaan *core* dan *cladding*. Namun, untuk terjadi pemanduan ini dibutuhkan sudut datang  $\Phi_c$ , di

mana  $\Phi_c < n_2/n_1$ , dan  $n_2$  adalah indeks bias *cladding*. Untuk sudut yang lebih besar dari  $\Phi_c$

$$\sin \Phi_c = \left( \frac{n_2}{n_1} \right) \quad (2.2)$$

Sepanjang perambatan sinar ini, sinar dengan  $\Phi > \Phi_c$  akan terpandu di dalam serat optik. Apabila nilai indeks bias  $n_1 > n_2$ , maka sudut bias akan menjadi lebih besar dari pada sudut datang. Bila sudut bias  $90^\circ$ , maka sudut datang harus lebih kecil daripada  $90^\circ$ . Hal ini adalah terdapat batas untuk pembiasan dan sudut datang disebut sudut kritis  $\Phi_c$ . Dengan demikian, persamaan (2.2) menjadi

$$\Phi_c = \arcsin \left( \frac{n_2}{n_1} \right) \quad (2.3)$$

dengan  $n_1$  dan  $n_2$  menunjukkan indeks bias *core* dan indeks bias *cladding*. Bila sudut datang lebih besar daripada sudut kritis maka berkas cahaya dipantulkan kembali ke medium dielektrik awal, hal inilah yang disebut dengan pantulan dalam total.

Dalam ungkapan sudut  $\theta$  melalui hubungan  $\theta_r = \pi/2 - \Phi_c$ , sehingga persamaan (2.1) menjadi:

$$n_0 \sin \theta_i = n_1 \sin \left( \frac{\pi}{2} - \Phi_c \right) \quad (2.4)$$

$$n_0 \sin \theta_i = n_1 \cos \Phi_c \quad (2.5)$$

dengan  $n_0$  adalah indeks bias udara ( $n=1$ ), kemudian persamaan (2.3) disubsitusi ke dalam persamaan (2.5),

$$\sin \theta_i = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \Phi_c}$$

$$\sin \theta_i = n_1 \sqrt{1 - \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2}$$

$$\sin \theta_i = n_1 \sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2}}$$

$$\sin \theta_i = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.6)$$

Persamaan (2.6) menunjukkan hubungan antara sudut sinar datang (*input*) dengan indeks bias ketiga medium yang saling berinteraksi. Hubungan tersebut dinyatakan sebagai tingkap numeris atau NA (*Numerical Aperture*), sehingga nilai NA pada serat optik dapat ditulis sebagai berikut:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.7)$$

Cahaya pada serat optik akan terdistribusi ke seluruh ruang, sehingga semakin besar sudut  $\theta_i$ , maka semakin banyak cahaya yang tertampung ke dalam serat optik. Dari persamaan (2.7), terlihat bahwa *Numerical Aperture* (NA) maupun  $\theta_i$  tidak bergantung pada ukuran (dimensi) serat optik. NA ini merepresentasikan kemampuan dari suatu serat optik untuk dapat mengumpulkan cahaya.

Di mana perbedaan nilai  $n_1$  dan  $n_2$  sangat kecil, sehingga nilai  $\Delta$  juga kecil. Dengan demikian bentuk persamaan (2.7) menjadi:

$$NA = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (2.8)$$

dengan

$$\Delta = \left( \frac{n_1 - n_2}{n_1} \right) \quad (2.9)$$

Umumnya, nilai  $\Delta$  berkisar 1 % sampai 3 % untuk serat optik *multimode* dan 0,2 % sampai 1 % untuk serat optik *singlemode*. Nilai NA untuk serat optik *step-index* berkisar antara 0,2 sampai 0,5 dan serat optik *graded-index* di sekitar 0,2. Kemudian, untuk serat optik *step-index multimode* dari bahan plastik berdiameter *core* besar, nilai NA antara 0,3-0,5.

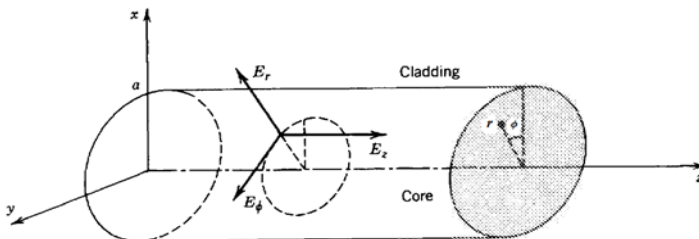
Nilai  $\Delta$  haruslah besar untuk menggabungkan kekuatan cahaya di dalam fiber, atau saat terjadi *coupling*. **Invalid source specified..**

### 2.3 Penjalaran Pandu Gelombang Elektromagnetik Pada Serat Optik

Karakteristik dari setiap moda gelombang optik yang terpandu pada sepanjang serat optik dapat diketahui dari nilai distribusi medan listrik dan medan magnet gelombang optik tersebut dalam perambatannya. Komponen medan listrik dan medan magnet gelombang optik terpandu diperoleh dengan hasil penyelesaian persamaan Helmholtz dengan menyatakan operator  $\nabla^2$  dalam koordinat silinder.

$$\nabla^2 U + k^2 U = 0 \quad (2.10)$$

dengan  $k = \frac{\omega}{c}$  yang merupakan konstanta perambatan. Dari hubungan dan  $n = \frac{c}{c_0}$  dan  $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}$ , maka didapatkan  $k = nk_0$  dengan indeks bernilai 0 menunjukkan bahwa medium vakum.



Gambar 2.4 Geometri serat optik dalam koordinat silinder (Saleh, 2007)

Dari bentuk geometri serat optik berbentuk silinder seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.4,  $n = n_1$  untuk  $r < a$  (pada *core*) dan  $n = n_2$  untuk  $r > a$  (pada *cladding*). Dalam koordinat silinder, persamaan Helmholtz mempunyai bentuk :

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 U}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} + n^2 k_0^2 U = 0 \quad (2.11)$$

dengan  $U = U(r, \phi, z)$  adalah amplitudo kompleks medan E dan H serta  $r$ ,  $\phi$ , dan  $z$  menyatakan posisi dalam koordinat silinder. Dalam koordinat silinder,  $U$  pada persamaan (2.12) merepresentasikan  $E_z$  dan  $H_z$  yaitu medan listrik dan medan magnet ke arah  $z$ . Amplitudo kompleks dimisalkan merambat ke arah  $z$ , maka dinyatakan dalam bentuk:

$$U = U(r, \phi, z) = U(r) e^{-j(l\phi + \beta z)} \quad (2.12)$$

dengan  $\beta$ , adalah konstanta perambatan dan  $l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  menunjukkan periodisitas  $\theta$ , dengan periode  $2\pi$ , maka persamaan (2.12) akan berbentuk:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \left( n^2 k_0^2 - \beta^2 - \frac{l^2}{r^2} \right) U = 0 \quad (2.13)$$

Lalu, dengan menggunakan syarat gelombang terpandu adalah  $n_2 k_0 < \beta < n_1 k_0$  maka, untuk itu didefinisikan parameter sebagai berikut (Saleh, 2007).

$$k_\tau^2 = n_1^2 + k_0^2 - \beta^2 \quad (2.14)$$

Kemudian,

$$\gamma^2 = \beta^2 - n_2^2 k_0^2 \quad (2.15)$$

Untuk gelombang terpandu  $k_\tau^2$  dan  $\gamma^2$  bernilai positif dan  $k_\tau$  dan  $\gamma$  bernilai real.  $k_\tau$  menyatakan komponen transversal gelombang terpadu di dalam *core*, sedangkan  $\gamma$ , menyatakan komponen transversal gelombang di *cladding* atau gelombang *evanescent*. Dengan demikian persamaan (2.13) dapat dipisahkan antara di *core* dan di *cladding* seperti persamaan berikut (Saleh, 2007):

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \left( k_\tau^2 - \frac{l^2}{r^2} \right) U = 0 \quad r < a \quad (2.16)$$

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \left( \gamma^2 - \frac{l^2}{r^2} \right) U = 0 \quad r > a \quad (2.17)$$

Persamaan (2.16) dan persamaan (2.17) berbentuk persamaan Bessel dengan solusi berupa fungsi Bessel. Agar fungsi tidak bernilai  $\infty$ , di  $r = 0$  (*core*) dan di  $r \rightarrow \infty$  (*cladding*), maka solusi terbatas adalah sebagai berikut:

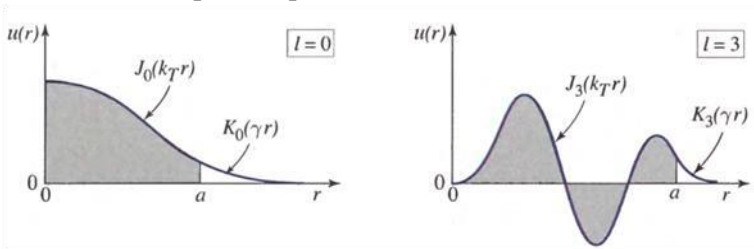
$$U(r) \propto \begin{cases} J_l(k_T r), & r < a \\ K_l(\gamma r), & r > a \end{cases} \quad (2.18)$$

Di mana  $J_l(x)$  adalah fungsi Bessel jenis pertama dan dalam orde  $l$ , dan  $K_l(x)$  adalah fungsi Bessel termodifikasi jenis kedua dan orde  $l$ . Dalam batas  $x \gg 1$ , fungsi  $J_l(x)$  berosilasi seperti fungsi sinus atau kosinus tetapi dengan amplitudo yang semakin berkurang dan  $K_l(x)$  meluruh secara eksponensial dengan meningkatnya  $x$  (Saleh, 2007).

$$J_l(x) \approx \left[ \frac{2}{\pi x} \right]^{1/2} \cos \left[ x - \left( l + \frac{1}{2} \right) \frac{\pi}{2} \right], \quad x \gg 1 \quad (2.19)$$

$$K_l(x) \approx \left( \frac{\partial}{2x} \right)^{1/2} \left[ 1 + \frac{4l^2 - 1}{8x} \right] e^{-x}, \quad x \gg 1 \quad (2.20)$$

Untuk nilai  $K_T$  besar, distribusi medan di dalam *core* berosilasi secara cepat. Apabila,  $\gamma$  besar, penurunan amplitudo medan akan terjadi secara cepat sehingga penetrasi medan (gelombang) di dalam *cladding* menjadi lebih kecil (Keiser, 1984). Distribusi amplitudo medan di *core* dan *cladding* untuk  $l = 0$  dan  $l = 3$  diperoleh pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Distribusi radial amplitudo medan di *core* dan *cladding* (Saleh, 2007).



Jika persamaan (2.14) dan (2.15) dijumlahkan, diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$K_{\tau}^2 + \gamma^2 = (n_1^2 - n_2^2)k_o^2 = (NA)^2 k_o^2 \quad (2.21)$$

Ruas paling kanan persamaan (2.21) dinyatakan konstan, artinya jika nilai  $k_{\tau}$  membesar, maka nilai  $\gamma$  mengecil, dan pada keadaan ini penetrasi medan ke *cladding* menjadi besar. Jika persamaan (2.21) dikalikan dengan  $a$  yang didefinisikan sebagai parameter  $V$  maka berkaitan dengan keadaan *cut off* (*cut off parameter*) atau frekuensi ternormalisasi dengan definisi sebagai berikut (Saleh, 2007):

$$V = 2\pi \frac{a}{\lambda_0} NA \quad (2.22)$$

dengan  $a$  = jari-jari teras,  $\lambda$  = panjang gelombang.

Untuk jumlah moda terpandu dalam serat optik dapat dirumuskan dengan persamaan berikut ini :

$$M = \frac{4}{\pi^2} V^2 \quad (2.23)$$

Bila nilai  $V$  serat optik  $< 2,408$  maka moda yang dapat dipandu hanya satu dan bila  $V \geq 2,408$  maka *mode* yang dapat dipandu pada serat optik lebih dari satu (Keiser, 1984).

## 2.4 Directional Coupler

Salah satu aplikasi yang merupakan sistem moda terkopel dalam serat optik adalah *Directional Coupler*. Divais optik tersebut terdiri atas susunan dua atau lebih pandu gelombang yang saling berdekatan dalam orde panjang gelombang optik. Divais ini dapat mendistribusikan daya optik ke dua *port* atau lebih, atau sebaliknya menggumpulkan daya optik ke *port* tunggal. *Directional coupler* dapat bersifat aktif maupun pasif. Hal ini dapat dibuat dari serat optik *multimode* yakni dengan cara menggabungkan dua buah atau lebih serat optik *multimode*

dengan panjang interaksi tertentu dengan metode FBT (*Fused Biconical Taperred*) (Supadi, 2006).

Untuk serat optik tanpa *losses* persamaan yang berlaku untuk menyatakan besarnya daya yang terkopel adalah :

$$P_2 = P_0 \sin^2(kz) \quad (2.24)$$

Untuk dua serat yang identik berlaku :

$$P_1 = P_0 - P_2 = P_0 [1 - \sin^2(kz)] = P_0 \cos^2(kz) \quad (2.25)$$

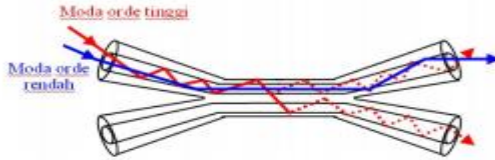
dengan: k = koefisien kopling antar dua serat optik.

Persamaan 2.25 memiliki arti bahwa fase perambatan daya pada serat pertama akan lebih cepat sebesar  $90^\circ$  dibandingkan fase perambatan daya pada serat kedua. Dengan demikian, pada saat  $z = 0$ , maka seluruh daya akan merambat melalui serat pertama ( $P_1$ ). Pengurangan untuk keterlambatan fase terjadi secara kontinu untuk setiap kenaikan  $z$ , hingga pada titik tertentu di mana  $kz = \pi/2$ . Pada titik ini, seluruh daya yang merambat pada serat optik pertama akan dipindahkan atau *transfer* ke serat optik kedua. Persamaan 2.25 juga menyatakan bahwa hubungan antara kopling dan transfer energi adalah linier dan berlaku prinsip superposisi gelombang (Jones Jr, 1988).

Proses pemindahan daya optik di dalam *directional coupler* yang linier dapat dijelaskan dengan teori moda terkopel, dengan berdasarkan interaksi medan-medan *evanescent* dari masing-masing pandu gelombang. Untuk panjang koplingnya, akan ditentukan dari kuat kopling, yaitu kuantitas *overlapping* di antara medan dalam pandu gelombang satu dengan medan *evanescent* dari pandu gelombang kedua (Rubiyanto, 2003).

Metode pendekatan secara kuantitatif, relatif lebih akurat dalam menjelaskan proses pemindahan daya optik dalam *directional coupler*, yaitu dengan pendekatan moda normal. Menurut pendekatan ini, proses pemindahan daya optik terlaksana sebagai konsekuensi dari interferensi antara dua moda medan optik orde terendah yang disebut moda simetri, yang terpandu disepanjang transversalnya. Sementara itu,

panjang koplingnya ditentukan melalui  $L_c = (\beta_s - \beta_a)$ , dengan  $\beta_s$  dan  $\beta_a$  masing-masing adalah nilai tetapan propagansi efektif moda simetri dan asimetri. Adapun bentuk medan kedua moda yang diperlukan dalam tetapan propagasi efektif adalah medan-medan yang berlaku untuk seluruh struktur *directional coupler*, bukan bentuk medan dari masing-masing pandu gelombang seperti dalam teori moda terkopel (Rubiyanto, 2003).



Gambar 2.6 Proses Pembagian Berkas Pada Kopling (Supadi, 2006)

## 2.5 Karakteristik Pada *Directional Coupler* Serat Optik 3×3

Untuk memahami sifat-sifat umum *directional coupler fiber* 3×3, dimulai dari persamaan moda terkopel sebagai berikut:

$$\frac{dA}{dz} = j\beta_1 A + j\kappa_{21} B + j\kappa_{31} C, \quad (2.26.a)$$

$$\frac{dB}{dz} = j\beta_2 B + j\kappa_{32} C + j\kappa_{12} A \quad (2.26.b)$$

$$\frac{dC}{dz} = j\beta_3 C + j\kappa_{13} A + j\kappa_{23} B, \quad (2.26.c)$$

Di mana  $A$ ,  $B$ ,  $C$  adalah amplitudo medan optik dengan masing-masing tetapan propagasinya  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ . Sementara  $\kappa_{ij}$  adalah koefisien kopling. Dalam kasus pandu gelombang tanpa rugi daya, berlaku hukum kekekalan energi, yaitu  $AA^* + BB^* + CC^* = \text{Konstan}$ , berdasarkan hubungan  $\kappa_{12} = \kappa_{21}^*$ ,  $\kappa_{23} = \kappa_{32}^*$ ,  $\kappa_{31} = \kappa_{13}^*$ .

Kebanyakan *coupler* 3×3 dalam prakteknya terbuat dari 3 serat optik identik dengan indeks bias efektif  $n_{eff}$  sama. Sehingga persamaan kopling disederhanakan menjadi:

$$\frac{d}{dz} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = j \begin{pmatrix} \beta & \kappa_{12}^* & \kappa_{31} \\ \kappa_{12} & \beta & \kappa_{23}^* \\ \kappa_{31}^* & \kappa_{23} & \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix}. \quad (2.27)$$

Persamaan tersebut dapat diselesaikan dengan solusi percobaan dalam bentuk  $\propto \exp(j\gamma z)$  dengan konstanta propagasi gabungan  $\gamma$ , yang ditentukan dari persamaan nilai eigen:

$$\mathbf{0} = j \begin{pmatrix} \beta - \gamma & \kappa_{12}^* & \kappa_{31} \\ \kappa_{12} & \beta - \gamma & \kappa_{23}^* \\ \kappa_{31}^* & \kappa_{23} & \beta - \gamma \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} \quad (2.28)$$

Untuk memastikan solusi agar tidak bernilai nol maka determinannya harus sama dengan nol, menghasilkan persamaan:

$$x^3 - 3p^2x - 2q^3 = 0, \quad (2.29)$$

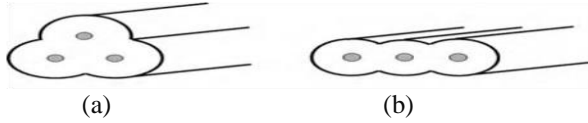
Di mana,

$x = \gamma - \beta$ ,  $3p^2 = |\kappa_{12}|^2 + |\kappa_{23}|^2 + |\kappa_{31}|^2$ , dan  $2q^3 = \kappa_{12}^* \kappa_{23} \kappa_{31} + \kappa_{12} \kappa_{23}^* \kappa_{31}$ . Bentuk terakhir juga dapat ditulis  $2q^3 = 2|\kappa_{12} \kappa_{23} \kappa_{31}| \cos(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3)$  dengan fase  $\phi_i$  masing-masing koefisien kopling dalam bentuk kompleks. Solusi yang diperoleh yaitu:

$$\gamma_n = \beta - 2p \cos \left[ \frac{2(n-1)\pi}{3} + \frac{\theta}{3} \right] \quad (n=1,2,3), \quad (2.30)$$

dengan  $\theta = \cos^{-1}(-q^3/p^3)$ . Karakteristik transmisi diberikan jika koefisien kopling diketahui (Fang Zujie, 2012).

Pada proses fabrikasi *coupler* 3×3, terdapat 2 tipe struktur yang sering digunakan, yaitu konfigurasi segitiga dan konfigurasi planar seperti ditunjukkan secara skematis pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Dua tipe konfigurasi coupler 3×3: (a) segitiga dan (b) planar (Fang Zujie, 2012)

Untuk *coupler* 3×3 tipe konfigurasi planar, diasumsikan bahwa tidak terjadi kopling antar-kedua pandu gelombang tepi (kanan-kiri). Sekarang persamaan moda terkopel ditulis sebagai:

$$\frac{d}{dz} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = j \begin{pmatrix} \beta & \kappa_{12}^* & 0 \\ \kappa_{12} & \beta & \kappa_{23}^* \\ 0 & \kappa_{23} & \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} \quad (2.31)$$

dengan solusi percobaan dalam bentuk  $\propto \exp(j\gamma z)$  diperoleh persamaan nilai eigen:

$$x^3 - (|\kappa_1|^2 + |\kappa_2|^2)x = 0. \quad (2.32)$$

Konstanta propagasi gabungan menjadi:

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= \beta, \\ \gamma_{2,3} &= \beta \pm \kappa \end{aligned} \quad (2.33)$$

dimana  $\kappa = \sqrt{|\kappa_1|^2 + |\kappa_2|^2}$ . Substitusi nilai eigen ke dalam persamaan (2.31), diperoleh persamaan transmisi sebagai berikut:

$$\begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \cos \kappa z + 1 & j\sqrt{2} \sin \kappa z & \cos \kappa z - 1 \\ j\sqrt{2} \sin \kappa z & \sqrt{2} \cos \kappa z & j\sqrt{2} \sin \kappa z \\ \cos \kappa z - 1 & j\sqrt{2} \sin \kappa z & \cos \kappa z + 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_0 \\ B_0 \\ C_0 \end{pmatrix} \quad (2.34)$$

Sebuah kasus khusus dimana faktor fase kopling memenuhi  $\cos \kappa l = 1$ , membuat persamaan transmisi menjadi matriks identitas 3×3. Kegunaan lain dari *coupler* planar 3×3 adalah sebagai piranti yang panjang kopling  $l_c$  dan koefisien

koplingnya diatur untuk memenuhi  $\cos \kappa l = 0$ , dan matriks transmisinya ditulis sebagai:

$$\begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & j\sqrt{2} & -1 \\ j\sqrt{2} & 0 & j\sqrt{2} \\ -1 & j\sqrt{2} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_0 \\ B_0 \\ C_0 \end{pmatrix} \quad (2.35)$$

Persamaan (2.35) tersebut menunjukkan bahwa ketika sinyal optik masukan diberikan pada *port* tengah *coupler*, tidak ada sinyal yang terdeteksi pada *port* keluaran tengah, sedangkan pada kedua *port* keluaran samping (kanan & kiri) diperoleh sinyal yang sama besar dan dalam satu fase (Fang Zujie, 2012).

## 2.6 Parameter utama dalam *Directional Coupler*

Parameter-parameter pokok dalam divais *Directional coupler* optik antara lain:

1. *Splitting* atau *Coupling ratio* (CR), proporsi perbandingan antara daya output terhadap masing-masing daya output. Nilai CR diperoleh dari saluran keluaran, yaitu *port* A2 dan *Port* B2 (Crisp dan Elliott, 2005)

$$CR = \frac{P_{B2}}{(P_{B2} + P_{A2} + P_{C2})} \quad (2.36)$$

2. *Insertion loss*, ( $L_{ins}$ ), yaitu rugi yang terjadi akibat daya dari saluran masukan *coupler* serat optik terdistribusi di antara saluran keluaran dengan *port* A2 dan *port* B2. *Insertion loss* diukur sebagai perbandingan daya output tunggal terhadap daya inputnya (Crisp dan Elliott, 2005).

$$L_{ins} = -10 \log \frac{P_{A2}}{P_{A1}} \text{ dB} \quad (2.37)$$

3. *Excess loss* ( $L_e$ ), adalah Rugi daya total yang dinyatakan (Crisp dan Elliott, 2005).

$$L_e = -10 \log \left( \frac{\sum P_j}{P_i} \right) \text{ dB} = -10 \log \left( \frac{P_{A2} + P_{B2} + P_{C2}}{P_{B1}} \right) \text{ dB} \quad (2.38)$$

4. Direktivitas (*directivity*) atau *Crosstalk* dari *coupler* optik diukur antar *port-port* masukan *directional coupler* (Crisp dan Elliott, 2005).

$$D = C_t = -10 \log \frac{P_{B1}}{P_{A1}} \text{ dB} \quad (2.39)$$

## 2.7 Rugi Daya

Pengukuran rugi daya dalam serat optik berperan penting dalam fabrikasi untuk mendapatkan karakterisasi yang baik. Pengukuran rugi daya ini dapat dilakukan dengan berbagai cara, misal pengukuran rugi daya transmisi total, serapan dan hamburan, serta pengaruh *bending*. Untuk pengukuran pelemahan rugi daya transmisi total, dapat ditentukan melalui pengukuran daya total pada dua titik dalam serat optik, yaitu *input* dan *output* (Sunarno, 2000).

$$\alpha = \frac{10}{L} \log \left( \frac{P_{in}}{P_{out}} \right) \quad (2.40)$$

Di mana :

$\alpha$  = Atenuasi (db/m)

$P_{in}$  = Daya Masukan

$P_{out}$  = Daya Keluaran

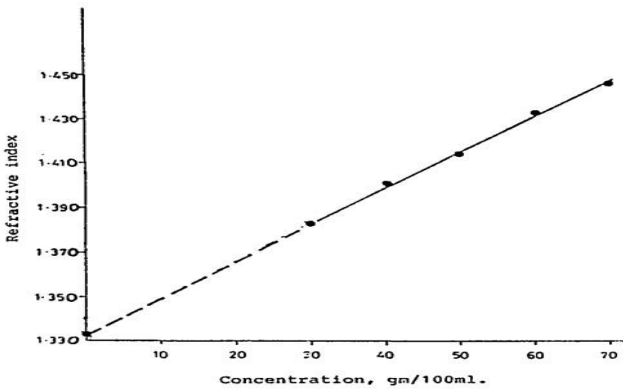
$L$  = Panjang Serat Optik

## 2.8 Hubungan Molaritas dengan Indeks Bias dan Intensitas Cahaya

Konsentrasi larutan atau molaritas adalah perbandingan zat terlarut terhadap pelarutnya. Massa zat terlarut berpengaruh terhadap massa jenis larutan, di mana semakin besar massa zat, maka massa jenis akan semakin besar pula, dengan syarat volume tetap.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.41)$$

Indeks bias, adalah perbandingan laju cahaya dalam ruang hampa terhadap laju cahaya dalam medium. Konsentrasi larutan dan indeks bias memiliki hubungan yang linier, artinya semakin besar konsentrasi larutan, indeks bias juga akan semakin besar. Hal ini dapat dilihat dari gambar 2.8 berikut ini (Yunus, 1989).



Gambar 2.8 Hubungan Molaritas NaCl Terhadap Indeks Bias (Yunus, 1989)

Dalam rugi daya, terjadi pelemahan daya *input* sehingga menghasilkan daya *output* yang berkurang atau mengalami peredaman. Peredaman ini mengakibatkan amplitudo masukan menjadi lebih kecil dibandingkan keluaran. Peredaman ini disebabkan beberapa faktor, dari penyerapan, hamburan, dan pelengkungan / *bending* (Farrei, 2002). .



Secara mikroskopik, ada beberapa faktor yang menyebabkan peredaman intensitas cahaya. Yang pertama adalah hamburan dalam serat optik dan juga *microbending*. Pada dasarnya, serat optik terbuat dari beragam molekul. Kepadatan molekul – molekul ini yang mempengaruhi indeks bias, baik pada *cladding* maupun pada bagian *core* (Keiser, 1984).

Dengan pemberian larutan tertentu sebagai pengganti *cladding* akan memberikan variasi pada indeks bias serat optik. Perubahan indeks bias ini mengakibatkan adanya hamburan *Rayleigh* dari cahaya datang. Berkas sinar cahaya yang mengenai zat dalam serat optik ini, akan menyebabkan terhamburnya berkas – berkas ke segala arah, sehingga menjauhkan sinar dari garis normal, dan daya yang terbentuk mengalami penurunan intensitas.

Ditinjau dari segi matematisnya, kembali menggunakan persamaan 2.8 untuk meninjau nilai NA. Dengan menggunakan persamaan NA, mampu dilihat besarnya sinus sudut pancaran maksimal dari sumber optik yang merambat pada *core* yang masih dapat dipantulkan total. Bila nilai indeks bias *cladding* semakin besar dan mendekati nilai indeks bias *core*, NA yang terbentuk semakin kecil sehingga cahaya yang merambat pun akan berkurang. Besarnya indeks bias ini tergantung pula dari molaritas atau kepadatan molekul yang digunakan sebagai *cladding* (D.A.Krohn, 2000).

Tabel 2.1 Jenis Larutan dan Indeks Bias (Pedrotti, 1993)

NO	JENIS	INDEKS BIAS
1	AIR	1.33
2	UDARA VAKUM	1
3	LARUTAN GLUKOSA	1.47
4	HELIUM CAIR	1.025
5	PMMA	1.49
6	SILIKON	3.42-3.48
7	LARUTAN Asam Sitrat	1.42
8	LARUTAN NaCl	1.43

9	FluoroPolymer	1.41
10	ASETON	1.36
11	HCl	1.3
12	NaOH	1.35

## 2.9 Gelombang *Evenescent*

Gelombang *evanescent* adalah gelombang yang mengalami penurunan amplitude secara ekponensial akibat melalui medium yang lebih renggang. Di dalam serat optik, sebagian gelombang terserap dalam *cladding* dan daya menurun secara eksponensial. Gelombang *evanescent* terjadi ketika sinar datang yang masuk ke serat tidak seluruhnya terpantulkan akan tetapi ada sebagian yang di transmisikan ke medium antara prisma dengan lapisan tipis yang dikenal dengan peristiwa *Frustrated Total Internal Reflection* (FTIR) (Pedrotti, 1993).

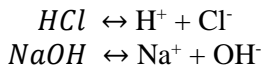
Pengoplingan gelombang *evanescent* merupakan proses gelombang elektromagnetik yang bertransmisi dari medium satu ke medium yang lain seperti medan elektromagnetik *evanescent*. Energi pada medan *evanescent* akan kembali ke medium awal, tetapi pada medium kedua, energi tersebut akan diteruskan ke daerah penetrasi. Dengan demikian, medan pada medium yang lebih renggang tidak ssama dengan nol sehingga mengakibatkan penurunan daya. (Pedrotti, 1993).

Dalam pembahasan tentang perambatan gelombang cahaya dengan pemantulan dalam total melalui sebuah serat optik disebutkan bahwa terjadi peristiwa *cross-talk*, kopling dari energi gelombang ke dalam medium lain ketika energi tersebut dibawa cukup dekat dengan gelombang pantul. Rugi energi ini digambarkan sebagai *frustated total reflection* (Pedrotti, 1993). Kedalaman penetrasi gelombang ini bergantung dari nilai indeks bias *cladding* relative terhadap indeks bias *core*. Semakin dalam penetrasi gelombang ini, semakin rendah daya yang tertransmisikan (Pedrotti, 1993).

## 2.10 pH Asam dan Basa

Secara umum, larutan dibagi menjadi tiga jenis, yaitu asam, basa, dan netral. Asam adalah senyawa yang menghasilkan ion hydrogen  $H^+$  dalam air dan berkurangnya ion hidroksida ( $OH^-$ ), sedangkan basa adalah sebaliknya. Jumlah ion  $H^+$  dan  $OH^-$  di dalam air digunakan untuk menentukan derajat keasaman atau kebasaan suatu larutan. Semakin asam, maka ion  $H^+$  semakin banyak dan semakin basa, maka ion  $OH^-$  semakin besar.

### Contoh Reaksi



pH dapat didefinisikan sebagai derajat keasaman dari suatu jenis larutan. Larutan asam memiliki rentang pH dari 0 – 7, dan larutan basa memiliki rentang pH 7-14. Sementara pH netral pada pH bernilai 7. pH ini ditentukan berdasarkan aktivitas ion hydrogen di dalam suatu larutan. Berikut adalah hubungan pH dengan konsentrasi larutan.

$$\begin{aligned} pH &= -\log [H^+] \\ pH &= -\log (M \times n) \\ pH &= -(\log M + \log n) \\ pH &= -\log M - \log n \\ pH &\approx -\log M \dots\dots\dots(2.42) \end{aligned}$$

Sementara itu, pH juga dapat dihubungkan dengan normalitas (N) larutan. Oleh karena molaritas (M) sebanding dengan jumlah ion Hidrogen pada suatu larutan maka,

$$N = \text{Jumlah ion } H^+ \times M \dots\dots\dots(2.43)$$

Dengan demikian, oleh karena normalitas sebanding dengan molaritas, maka dapat disimpulkan bahwa normalitas juga sebanding dengan pH. Semakin asam, normalitas larutan semakin banyak, dan semakin basa normalitas larutan juga meningkat (McMurry, 2006)

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Peralatan dan Bahan**

Peralalatan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini antara lain:

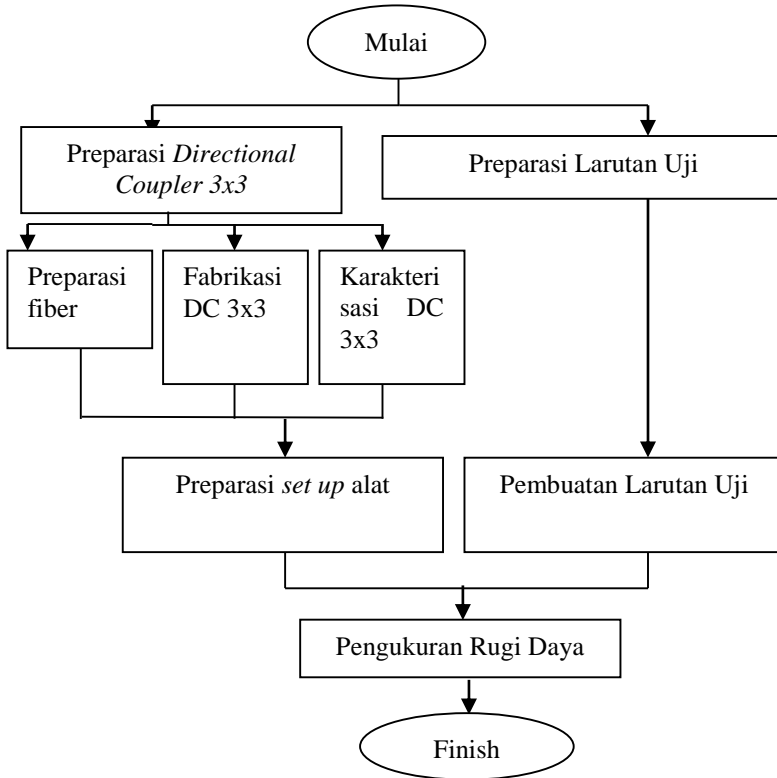
1. BF5R-D1-N 2 buah
2. *DIN Rail* 2 buah
3. Mur & Baut
4. Selotip / *seal tape*
5. Gunting dan *cutter*
6. Akrilik
7. *Power Supply 30 V*
8. Kabel penjepit buaya
9. Penggaris 60 cm
10. Gelas Larutan 6 buah

Bahan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Serat optik *step index* moda jamak tipe FD-620-10
2. Kaca akrilik
3. Lem PVC
4. Alkohol 70%
5. Ampelas (mesh: 240,500, 1200,2000)
6. Benang jahit
7. Larutan NaCl 1 M,2 M,3 M,4 M, 5 M
8. Aquades, HCl 0.1 s.d 0.00625 N, NaOH 0.1 s.d 0.00625 N
9. Larutan Glukosa 1 M,2 M,3 M,4 M, 5 M
- 10.Larutan Asam Sitrat 1 M,2 M,3 M,4 M, 5 M

### 3.2. Diagram Kerja Penelitian

Alur kerja dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut :

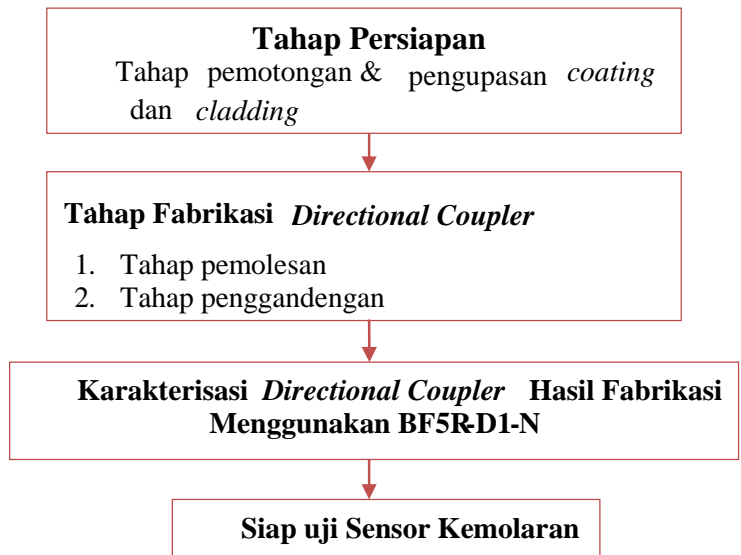


Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

### 3.3 Prosedur Kerja

#### 3.3.1 Preparasi *Directional Coupler* 3x3

Secara umum, tahap preparasi *Directional Coupler* 3x3 ini dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu preparasi serat optik fabrikasi DC 3x3, dan karakterisasi DC 3x3. Prosesnya dapat dilihat dalam diagram alir berikut ini.



Gambar 3.2 Diagram alir Preparasi DC 3x3

### 3.3.1.1 Preparasi Serat Optik

Serat optik yang digunakan adalah jenis FD-620-10. Pada tahap ini, dilakukan pemotongan dan pengupasan *coating* dan *cladding* serat optik. Prosesnya adalah sebagai berikut.

Untuk menghasilkan *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar dengan satu panjang kupasan, dibuat dua buah jenis akrilik. Pertama akrilik dengan ukuran 20 cm x 2 cm x 1 cm sebagai alas saat mengupas serat dan kedua adalah akrilik untuk menentukan panjang kupasan serat. Untuk akrilik jenis kedua, dibuatlah 3 buah akrilik dengan ketinggian sisi atas masing-masing 0,75 mm, 1 mm, dan 1,5 mm. Dengan variasi panjang kupasan, maka jenis ini dibuat sebanyak 3 buah, yaitu untuk panjang 60 mm. Untuk jenis pertama adalah bagian utama alat pengupas *coating* dan *cladding*, dibuat sebanyak 2 buah. Bagian akrilik kedua

ini dirangkai ditengah antara dua buah bagian akrilik utama dan digabung dengan menggunakan mur dan baut melalui lubang yang telah dibuat. Untuk lebih jelasnya, hasil pengupasan *coating* dan *cladding* yang telah dibuat diperlihatkan pada Gambar 3.3.

Prosedur Pemotongan dan Pengupasan *coating* dan *cladding* adalah sebagai berikut.

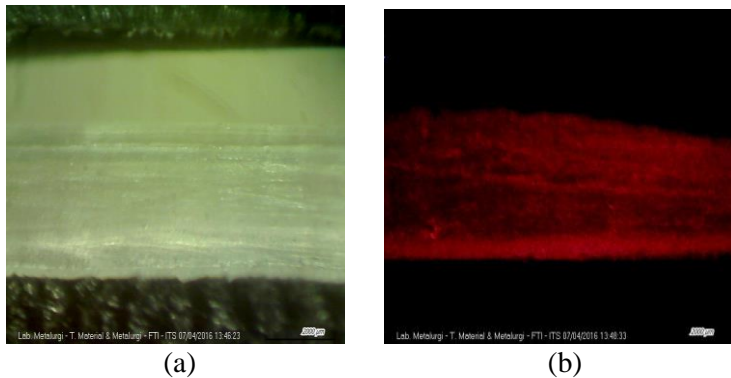
1. Serat optik dikupas menggunakan akrilik yang telah dibuat.. Untuk memudahkan identifikasi, ketiga serat optik tersebut diberi label A, B, dan C. Serat optik B diletakkan ditengah dan diapit oleh serat optik A dan serat optik C. Serat optik A dan C yang akan dikupas ditempatkan di tengah-tengah bagian alat tersebut dan ditempelkan selotip agar tidak bergeser. Selanjutnya serat optik dikupas dengan ketebalan 1 mm dengan panjang kupasan 60 mm.
2. Untuk serat optik B yang akan dijadikan bagian tengah *directional coupler* konfigurasi  $3 \times 3$  planar, dikupas sisi kiri 0,75 mm dan kanannya sebesar 1,5 mm, sehingga tersisa serat optik di bagian tengah dengan ketebalan 0,5 mm, dengan panjang kupasan 60 mm.



Gambar 3.3 Hasil Pengupasan Kabel Serat Optik



Setelah dikupas, sebelum masuk ke tahap fabrikasi, dilakukan peninjauan secara mikro untuk melihat kerataan serat optik pada bagian *core*. Peninjauan ini dilakukan di Laboratorium Metal, Jurusan Material dan Metalurgi, ITS. Hasil dari peninjauan tersebut adalah sebagai berikut



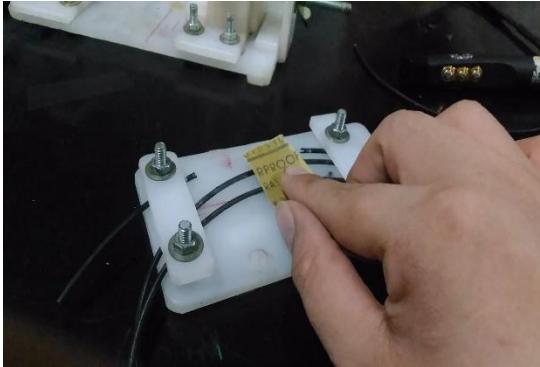
Gambar 3.4 (a) Hasil Foto Mikroskopik Serat Optik *Port B* panjang kupasan 60 mm tanpa disinari laser (b) dengan laser

Dari hasil foto pada gambar 3.4 sebenarnya masih kurang terlihat jelas, namun secara umum sudah dapat dikatakan rata karena sudah tidak ada bagian *coating* yang tersisa. Dapat dilihat jika bagian yang lebih terang adalah bagian *core* dari serat optik. Untuk lebih rata, dilakukan pemolesan.

### 3.3.1.2 Tahap Fabrikasi DC 3x3

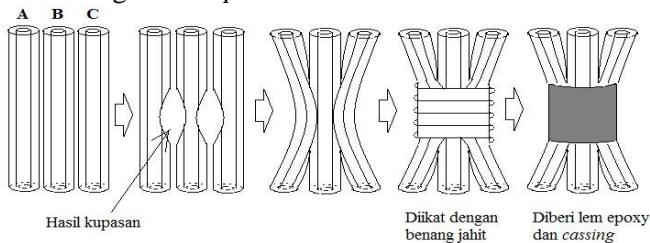
Pada tahap ini, pertama serat optik diletakkan pada alat pemoles dengan bagian yang terkupas menghadap ke atas. Posisi serat optik harus pada keadaan lurus dan sejajar. Kemudian, dengan menggunakan ampelas serat optik digosok searah. Ampelas yang digunakan yaitu dengan mesh 240, 500, 1200, dan 2000. Proses pemolesan ini dapat dilihat pada gambar 3.5. Hal ini dilakukan agar seluruh serat optik yang dipoles mempunyai permukaan yang rata dan

ketebalan yang sama. Untuk ujung-ujung serat optik diratakan menggunakan ampelas dengan cara digosok membentuk angka delapan. Hal ini dilakukan agar seluruh permukaan rata. Selanjutnya, kupasan dibersihkan menggunakan alkohol 70 % dan dikeringkan.



Gambar 3.5 Proses Pemolesan *Directional Coupler 3x3*

Berikutnya adalah tahap penggabungan ketiga buah kabel. Penggabungan dilakukan dengan cara menggandeng ketiga serat optik pada bagian yang telah dipoles dengan mengikatnya menggunakan benang jahit dan ditutup kembali dengan *sel tape* khusus kabel.



Gambar 3.6 Proses Penggabungan *Directional Coupler 3x3*



Gambar 3.7 Hasil Fabrikasi Directional Coupler 3x3

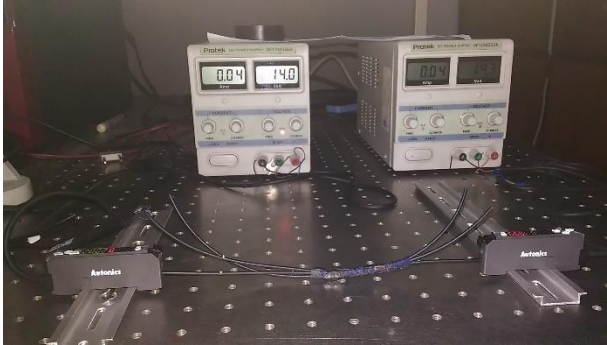
Proses penggandengan dapat dilihat pada gambar 3.6 dan hasilnya dapat dilihat dari gambar 3.7

### 3.3.1.3 Tahap Karakteriasi DC 3x3

Karakteriasi *directional coupler* hasil fabrikasi menggunakan BF5R-D1-N. Dengan tujuan untuk memperoleh nilai *coupling ratio* (CR) dan *excess loss* (Le). Sensor ini merupakan sensor khusus untuk menganalisis daya keluaran yang diterima dari fiber optik. Pada karakterisasi ini digunakan dua buah BF5RD1-N, yang pertama sebagai sumber cahaya dan yang kedua sebagai fotodetektor. Karakterisasi ini digunakan untuk mengetahui apakah *directional coupler* yang dibuat telah sesuai untuk bekerja sebagai sensor.

*Set up* alat untuk karakterisasi menggunakan BF5R-D1-N ditunjukkan pada Gambar 3.6. Kedua BF5R-D1-N diletakkan di atas DIN *rail* agar bisa berdiri tegak dan sejajar antarkeduanya. Sumber tegangan DC dari *power supply* yang digunakan pada kedua BF5R-D1-N adalah sebesar 13 Volt, nilai ini berada di rentang tegangan kerja BF5R-D1-N yaitu 12-24 Volt DC. Untuk mengetahui karakteristik dari *directional coupler* yang telah di fabrikasi, dilakukan pengukuran menggunakan BF5R-D1-N pada masing-masing *port* keluaran sebanyak 20 kali pengulangan. Untuk setiap panjang kupasan, BF5R-D1-N yang digunakan sebagai sumber cahaya dipasang di *Port* masukan B1, A1

dan C1 secara bergantian, sementara BF5RD1-N yang digunakan sebagai detektor dipasang di *Port* lainnya untuk mendeteksi cahaya yang diteruskan dan cahaya yang balik.



Gambar 3.8 Proses Karakterisasi *Directional Coupler 3x3*

### 3.3.2 Preparasi Larutan Uji

Pembuatan larutan uji ini terdiri dari lima jenis, yaitu NaCl, Glukosa, HCl, NaOH, dan Asam Sitrat . Untuk larutan NaCl ini dilakukan dengan melarutkan NaCl ke dalam aquades 100 mL. Pada penelitian ini, digunakan variasi kemolaran yaitu 1 M, 2 M hingga 5 M. Untuk mendapatkan 1 M larutan NaCl dengan volume 100 mL, dibutuhkan NaCl seberat 5.85 gram. NaCl ditimbang dalam neraca digital dan dimasukkan ke dalam aquades 100 mL, kemudian diaduk hingga larut merata. Larutan ini kemudian dimasukkan ke dalam gelas uji. Sama halnya dengan NaCl, untuk larutan glukosa dan larutan asam sitrat dibuat dari 1 M – 5 M, dengan berat glukosa 18 gram dan asam sitrat dengan berat 20 gram untuk 1 M nya. Larutan HCl 0.1 N – 0.00625 N dan larutan NaOH 0.1 N – 0.00625 N digunakan untuk mengukur pH.



Gambar 3.9 Preparasi Larutan Uji Molar dan pH

### 3.3.3 Tahap Pengukuran Sensor Molar dan pH

Setelah dilakukan pembuatan DC 3x3 dan Larutan uji dengan variasi larutan, dilakukan proses pengujian sensor kemolaran serta pH ini. Proses ini sama dengan karakterisasi DC 3x3, yaitu dengan menggunkan dua buah BF5R-D1-N, sebagai sumber cahaya dan juga detektor cahaya.

Gelas uji menggunakan gelas kecil ukuran 250 mL yang dilubangi pada dua sisi sejajar. Lubang berada pada titik 100 mL gelas ukur. Serat optik dimasukkan melalui lubang tersebut. Sebelumnya, dibuat pula *probe sensing* pada DC 3x3 yang berada di posisi tengah dari gelas dengan panjang 1 cm. Panjang *probe sensing* sebesar 1 cm ini berdasarkan penelitian (Megawati, 2013), di mana pada penelitian *double coupler* sebagai sensor kemolaran, pada panjang *probe sensing* sebesar 1 cm, mampu mendeteksi rugi daya dengan baik karena memiliki sensitivitas yang tinggi. Kemudian, pada lubang diberikan lem perekat pula agar tidak ada larutan yang bocor. Larutan uji dimasukkan ke dalam gelas hingga batas 250 mL. Lalu, dilihat nilai *output* pada BF5R-D1-N.

Pengujian ini dilakukan dengan *set up* alat seperti pada gambar 3.10 untuk DC 3x3 untuk pengukuran dengan variasi molaritas dan gambar 3.11 untuk pengukuran pH, dan skema alat dapat dilihat pada gambar 3.12. Dari hasil karakterisasi yang dilakukan, digunakan *port B1(input)*, dan *output* nya

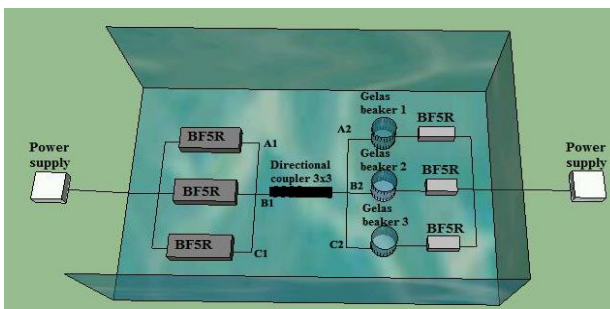
adalah *port* A2,C2 dan B2 sebagai *port* utama pengujian. Hal ini dikarenakan dalam proses karakterisasi, pada *port* B1 memiliki *coupling ratio* yang paling sensitif. Hasil perhitungan CR ini dapat dilihat pada bab selanjutnya.



. Gambar 3.10 Proses Pengukuran Daya Keluaran dengan molaritas larutan



Gambar 3.11 Proses Pengukuran Daya Keluaran dengan pH larutan



Gambar 3.12 Skema Kerja Penelitian

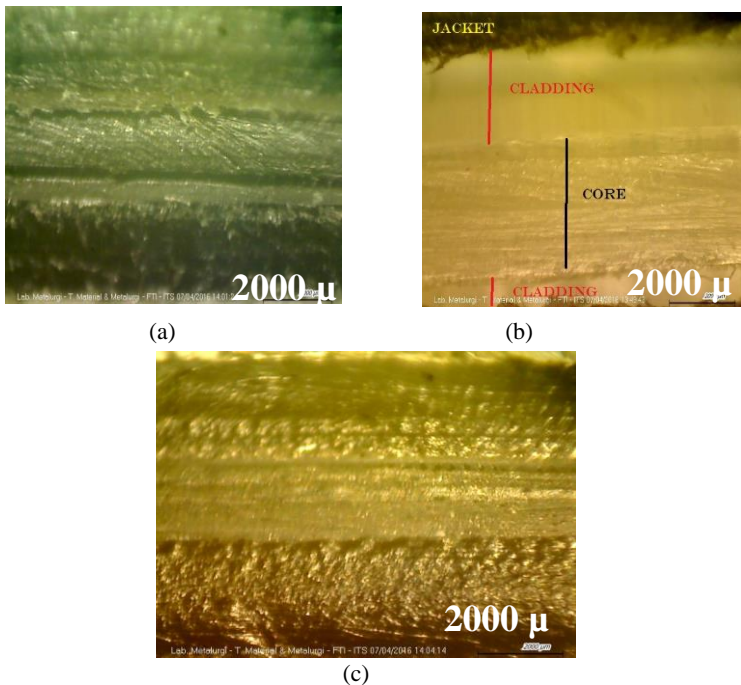
## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

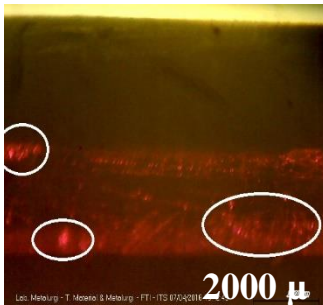
#### 4.1 Analisa Hasil Fabrikasi dan Karakterisasi *Directional Coupler* (DC) 3X3

##### 4.1.1 Analisa Fabrikasi DC 3x3 dengan Mikroskop Logam

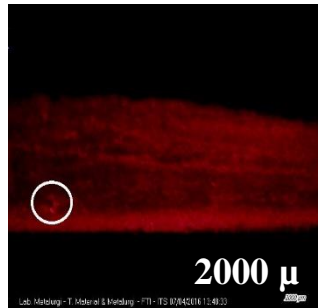
Pada penelitian ini, setelah melakukan tahap persiapan fabrikasi DC 3x3, dilakukan dahulu pengambilan struktur fiber yang telah selesai dikupas, seperti pada gambar berikut.



Gambar 4.1 Hasil Foto Struktur *Directional Coupler* 3x3 pertama (a) Fiber port A, (b) Fiber port B, dan (c) fiber port C pada panjang kupasan 60 mm



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.2 Hasil Foto Struktur Directional Coupler 3x3 dengan laser (a) Fiber port A, (b) Fiber port B, dan (c) fiber port C pada panjang kupasan 60 mm

Hasil perekaman foto ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah hasil pemolesan serat optik per kabelnya telah merata. Dari gambar 4.1 dan 4.2, menunjukkan hasil foto pada posisi *cladding* menghadap atas. Dari hasil kedua foto ini, dapat dilihat bagian – bagian dalam pada serat optik, yaitu *core*, *cladding*, dan *jacket*. Jenis serat optik FD-620-10 ini memiliki diameter *core* yang cukup besar sehingga bagian ini lebih besar daripada *cladding*, dan artinya serat optik ini merupakan jenis *multimode*. Dari kedua gambar, terlihat bahwa masih belum meratanya permukaan pada bagian *core*. Masih terlihat sisa – sisa hasil pemolesan yaitu berupa *cladding*



dan *jacket*, dari gambar 4.2 terutama masih terlihat banyaknya cahaya yang bocor pada saat dilalui oleh laser. Akibat belum meratanya bagian *core* ini, apabila dilakukan karakterisasi, maka hasilnya tidak akan valid. Ini terjadi akibat adanya lebar gap pada saat penggabungan ketiga kabel menjadi *directional coupler*. Untuk terjadinya proses *coupling* yang baik, dibutuhkan lebar gap yang mendekati 0. Hal ini artinya, setiap kabel dibuat memiliki lebar gap yang sama. Untuk itu, dilakukan pemolesan ulang agar mencapai hasil yang lebih akurat

#### 4.1.2 Analisa Hasil Karakterisasi DC 3x3

Setelah melakukan pemolesan ulang, maka untuk mengetahui DC 3x3 yang telah dibuat, mampu menjadi sensor, diperlukan karakterisasi dengan menggunakan BF5R-D1-N sebagai *input* serta *output* daya keluaran (au). Daya ini merupakan daya pancaran cahaya laser merah yang akan merambat dalam moda di DC 3x3.

Salah satu syarat untuk menjadi sensor, DC 3x3 harus memiliki *coupling ratio* (CR) yang kurang lebih terbagi rata untuk tiga buah keluaran ( $\pm 0.3$  per *port* luaran). Karakterisasi dilakukan dengan memasang BF5R-D1-N di salah satu ujung *input* dan *output*. Proses karakterisasi ini dilakukan secara bergantian untuk tiap *port* nya. Pengulangan yang dilakukan adalah sebanyak 20 kali. Dari hasil karakterisasi tersebut, didapatkan data *ouput* dengan menggunakan *port* A1, *port* B1, dan *port* C1 sebagai *input*. Hasil *output* dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut Hasil karakterisasi lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.1 Hasil Karakterisasi *directional coupler* 3x3

Port Input	Port Output	Daya Output (au)
B1	A2	444.35
	B2	454.95
	C2	445
A1	A2	456.65
	B2	434.3
	C2	425.95
C1	A2	403.65
	B2	424.95
	C2	440.5

Kemudian, dilakukan perhitungan parameter DC 3x3 untuk mendapatkan nilai *Coupling Ratio (CR)* dan *Excess Loss (Le)* dari tiap DC 3x3 dengan menggunakan persamaan 2.36 dan 2.38. Dari hasil karakterisasi parameter DC 3x3 tersebut didapatkan nilai seperti pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Data Hasil Parameter DC 3x3

<i>Port Input</i>	<i>Port Outout</i>	CR	Le
B1	A2	0.33	4.12
	B2	0.34	
	C2	0.33	
A1	A2	0.35	4.21
	B2	0.33	
	C2	0.32	
C1	A2	0.32	4.37
	B2	0.33	
	C2	0.35	

Dari hasil tabel 4.2 di atas, dipilihlah *port input* dan *output* yang menunjukkan nilai CR mendekati 0.3 dan memiliki nilai selisih yang kecil dari pengukuran. Dari hal ini dapat dilihat bahwa pada *port B1* menunjukkan nilai yang demikian. Pada *port A2* menghasilkan nilai CR 0.33, pada *port B2* menghasilkan nilai CR 0.34, dan pada *port C2* menghasilkan nilai CR sebesar 0.33. Kemudian, dari parameter lain, yaitu  $Le$ , nilai yang ditunjukan juga baik, karena salah satu syarat *directional coupler* adalah memiliki nilai  $< 4.5$  dB (Samian, 2008). Nilai  $Le$  ini merupakan rugi daya total yang terjadi di dalam *coupler*. Daya cahaya yang tidak keluar di *port* namun terserap dan terhambur di dalam *coupler* inilah yang menyebabkan tidak seluruhnya cahaya keluar di *port* luaran. Oleh karena itu *port B1* menjadi *input* dan *port A2, B2, dan C2*, digunakan sebagai sensor, karena memenuhi syarat *directional coupler* untuk mampu membagi daya sebesar  $\pm 30 : 30 : 30$ .

Dalam *Directional Coupler 3x3* ini, setiap kabel telah dikupas hingga tersisa bagian *core*. Ketiga bagian inti ini digabung satu sama lain sehingga tidak menyisakan gap. Saat *port B1* diberi *input* cahaya, maka akan terjadi pantulan dalam total di dalam serat, sehingga cahaya bisa terpandu menuju *output*. Dalam proses pemanduan inilah terjadi kebocoran atau rugi daya dari serat optik, pada saat bertemu cabang *core* dari *port A1 dan C1*. Moda orde tinggi mengakibatkan gelombang cahaya ini mampu berpindah ke *port* tersebut menuju serat optik lainnya, sedangkan moda orde rendah akan tetap terpandu pada *port B1*. Moda orde tinggi yang terkopel ini merupakan kebocoran gelombang cahaya yang terpandu di dalam serat optik. Oleh karena menggunakan prinsip pembagi daya / pemecah berkas, maka akan ada daya yang hilang selama proses perpindahan berkas, baik berupa panas ataupun yang keluar dari jalur perpindahan. Akibatnya, intensitas cahaya akan lebih tinggi pada *port* masukan, yaitu *B1*.

## **4.2 Analisa Hasil Pengukuran Daya Keluaran terhadap Konsentrasi Larutan dan pH Larutan**

### **4.2.1 Analisa Hasil Pengukuran Daya Keluaran terhadap Konsentrasi Larutan**

Seperti pada karakterisasi DC 3x3, proses pengukuran rugi daya ini dilakukan dengan langkah yang sama, yaitu dengan menggunakan BF5R-D1-N sebagai *input* serta *output* daya keluaran (au). Daya ini merupakan daya pancaran cahaya laser merah yang akan merambat dalam moda di DC 3x3. Pada penelitian ini, prinsip yang digunakan adalah rugi daya, di mana ini terjadi karena pemberian perlakuan berupa variasi konsentrasi, pH, dan jenis larutan. Larutan dengan konsentrasi tertentu ini akan berperan sebagai pengganti *cladding* pada bagian *probe sensing* DC 3x3.

Pada penelitian ini, larutan yang diuji adalah NaCl, glukosa, dan asam sitrat dengan variasi kemolaran 1 – 5 M. Setiap larutan dimasukkan ke dalam setiap gelas berbeda. Larutan NaCl dimasukkan ke dalam gelas *port B2*, *port A2* untuk larutan asam sitrat, dan larutan glukosa pada *port C2*. Setiap kali pengujian dilakukan dengan konsentrasi larutan yang sama untuk tiap jenisnya. Sebelum pengujian dengan larutan, pertama – tama diuji dahulu hasil daya keluaran dengan menggunakan udara terbuka dan aquades sebagai data pembandingan.

Karakterisasi dilakukan dengan memasang BF5R-D1-N di salah satu ujung *input* dan *output*. Proses karakterisasi ini dilakukan secara bergantian untuk tiap *port* nya. Pengulangan yang dilakukan adalah sebanyak 20 kali. Dari hasil karakterisasi tersebut, didapatkan data sebagai berikut pada tabel 4.3 untuk dengan menggunakan *port B1* sebagai *input* dan *port A2*, *B2*, dan *C2* sebagai *output*.

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Daya Keluaran *directional coupler 3x3* terhadap Konsentrasi Larutan

N O	BAHAN UJI	OUTPUT (au)		INPUT (au)	RUGI DAYA (dB/m)
1	UDARA	A2	422.35	3475	10.85
		B2	432.25		
		C2	424.10		
2	AQUADES	A2	398.40		11.40
		B2	414.05		
		C2	404.00		
1	NaCL 1M	A2	355.00		12.71
	Asam Sitrat 1M	B2	390.15		
	Glukosa 1M	C2	332.75		
2	NaCL 2M	A2	345.00		13.17
	Asam Sitrat 2M	B2	375.15		
	Glukosa 2M	C2	312.75		
3	NaCL 3M	A2	329.2		13.85
	Asam Sitrat 3M	B2	348.7		
	GULA 3M	C2	292.75		
4	NaCL 4M	A2	314.20		14.39
	Asam Sitrat 4M	B2	336.45		
	GULA 4M	C2	272.75		
5	NaCL 5M	A2	294.20		15.32
	Asam Sitrat 5M	B2	320.80		
	GULA 5M	C2	232.75		

Dalam penelitian ini, sebelum melakukan pemberian variasi larutan, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi dengan cara membiarkan wadah uji kosong tanpa ada larutan, artinya bahwa

pengganti *cladding* pada *probe sensing* ini menggunakan udara, kemudian dikarakterisasi untuk mendapatkan nilai *output* nya.

Dari tabel 4.3, terlihat bahwa hasil daya keluaran yang dihasilkan cukup jauh berbeda, yaitu menurun bila dibandingkan dengan hasil pada tabel 4.1. Hal ini terjadi karena beberapa faktor, yaitu *macrobending* dan *microbending*. Pada proses pembuatan alat, terjadi pelengkungan pada DC 3x3 (terlihat pada gambar 3.10 dan 3.11). Dengan adanya pelengkungan ini, daya keluaran akan mengecil akibat pantulan dalam total yang tidak sempurna. Syarat terjadinya pantulan dalam total adalah sudut sinar datang (sumber) lebih besar daripada sudut kritis. Namun, pelengkungan menyebabkan sudut pantulan menjadi berubah, sehingga tidak semuanya sinar datang mengalami pantulan dalam total.

Setelah itu, pada setiap wadah uji diisi *aquades*. *Aquades* akan digunakan sebagai data pembanding karena penelitian ini menggunakan variasi jenis larutan beserta konsentrasinya, sehingga membutuhkan data yang memiliki konsentrasi netral, dalam hal ini *aquades* memiliki molaritas 0 M. Dari hasil uji pada kedua tabel 4.3 di atas, terlihat daya keluaran mengalami penurunan dibandingkan dengan saat berisi udara. Ini disebabkan perubahan indeks bias dari udara ke *aquades* sehingga mempengaruhi pula proses perambatan cahaya pada serat optik. Selain itu, dengan adanya larutan atau cairan juga memberikan gaya tekan kepada serat optik. Serat optik berada di tengah larutan *aquades* yang diberikan, sehingga bagian *probe sensing* tersebut mengalami gaya tekan ke atas dari dalam larutan beserta tekanan udara di dalam wadah uji. Dengan demikian, kembali terjadi *microbending* pada serat.

Setelah mendapatkan data awal sebagai pembanding, selanjutnya dilakukan variasi larutan dan konsentrasi, untuk menguji *probe sensing*. Pada variasi ini menggunakan larutan NaCl 1 M, 2 M, 3 M, 4 M, dan 5 M, Larutan asam sitrat 1 M, 2 M, 3 M, 4 M, dan 5 M, dan larutan Glukosa 1 M, 2 M, 3 M, 4 M, dan 5 M. Larutan – larutan uji ini, akan dimasukkan ke dalam wadah uji yang terhubung dengan *port A2*, *B2* dan *port C2*.

Dari tabel 4.3 untuk uji larutan terlihat terjadi penurunan daya keluaran seiring penambahan molaritas pada *port A2*, *port B2* dan *port C2*. Dengan menggunakan persamaan 2.40, maka dihitung nilai rugi daya pada penelitian ini. Terlihat bahwa pada konsentrasi 5 M merupakan intensitas terkecil karena rugi daya mencapai 15.32 dB/m nya. Semakin besar kemolaran suatu larutan, maka akan semakin besar pula massa dan massa jenis dari larutan. Hal ini mengakibatkan gaya tekan dalam larutan akan semakin besar dengan semakin tingginya konsentrasi larutan. Semakin besar konsentrasinya, semakin besar rugi daya yang terjadi.

Bahan uji digunakan sebagai pengganti *cladding* serat optik pada bagian *probe sensing*. Besarnya molaritas dan jenis larutan akan berpengaruh pada perubahan indeks bias *cladding* pada serat optik. Pada dasarnya, nilai indeks bias untuk serat optik jenis ini adalah 1.49 untuk *core* dan 1.41 untuk *cladding*. Larutan NaCl, seperti pada gambar 2.8 kurang lebih memiliki nilai indeks bias yang lebih besar dari *cladding* sebenarnya, yaitu sekitar 1.43. Tingginya nilai indeks bias ini ditentukan dari tingginya konsentrasi larutan. Hal ini terjadi karena kemolaran berbanding lurus dengan kerapatan medium (merujuk pada gambar 2.8 dan tabel 2.1) .

Hubungan molaritas dan rugi daya dapat dijelaskan sebagai berikut. Semakin besar kemolaran, maka medium juga akan semakin rapat dan tentunya hal ini mempengaruhi sudut kritis yang berakibat pada besarnya rugi daya. Semakin kecil selisih indeks bias diantara kedua medium, yaitu *core* dan Larutan NaCl, larutan asam sitrat, serta Larutan Glukosa dalam hal ini berfungsi sebagai *cladding*, maka semakin besar sudut kritis yang terbentuk, sehingga semakin sinar datang akan dibiaskan mendekati garis normal, sehingga semakin kecil sinar yang terpantul di dalam *core*, dan banyak *loss* yang terjadi. Nilai *loss* ini lah merupakan daya yang hilang sehingga berkurang.

Sama halnya dengan larutan NaCl, larutan gula juga mengalami penurunan daya setiap semakin tinggi molaritasnya. Bahkan, jika dilihat dari tabel 4.3, dibandingkan dengan NaCl, larutan gula mengalami penurunan daya yang lebih besar. Ini

artinya larutan gula memiliki indeks bias yang lebih mendekati nilai indeks bias *core*. Berdasar (Frederiksen, 2005), terlihat indeks bias gula adalah sekitar 1.47. Dengan indeks bias sebesar ini hanya berjarak 0.2 dari nilai indeks bias *core*. Akibatnya, pantulan sinar datang yang melewati larutan akan terpantul lebih jauh dari garis normal. Untuk larutan asam sitrat sendiri memiliki indeks bias 1.42, hal ini ditunjukkan dengan nilai *output* yang lebih baik dibandingkan kedua larutan lainnya.

Secara matematis, hubungan antara indeks bias, molaritas, dan intensitas cahaya, dapat dijelaskan sebagai berikut.

$$n = \frac{c}{v}$$

Dari perumusan ini, terlihat jika kecepatan cahaya di dalam medium ( $v$ ) akan berbanding terbalik dengan indeks bias ( $n$ ). Artinya, semakin besar indeks bias, kecepatan cahaya yang merambat di dalam serat optic akan semakin lambat. Sementara itu, kecepatan sebanding dengan tingkat energi atau intensitas cahaya. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa dengan semakin tinggi indeks bias, akan terjadi penurunan intensitas cahaya. Hal inilah yang terlihat pada penelitian ini, semakin tinggi molaritas NaCl dan Gula, maka indeks bias semakin besar dan nilai daya intensitas akan menurun.

Kemudian, dihitung pula nilai  $NA$ ,  $\theta_{0max}$ ,  $V$ ,  $M$  dengan persamaan 2.6, 2.7, 2.22, dan 2.23.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan  $NA$ ,  $\theta_{0max}$ ,  $V$ ,  $M$

BAHAN Cladding	NA	$\theta_{0max}$	V	M
Plastik	0.48	28.68	2.18E-11	1.92E-22
NaCl	0.42	24.83	1.89E-11	1.45E-22
Glukosa	0.24	13.88	1.92E-22	4.91E-23
Asam Sitrat	0.45	26.67	2.04E-11	1.69E-22



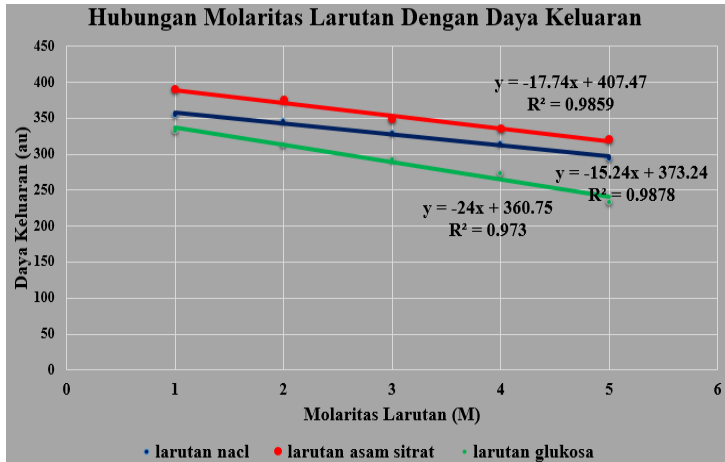
Pertama, dilihat dari nilai NA atau tingkap numeriknya. NA ini merupakan ukuran kemampuan serat untuk menangkap cahaya. Semakin besar nilai NA, maka nilai efisiensi *coupling* suatu *directional coupler* akan semakin baik. Dari ketiga nilai di atas, dengan menggunakan variasi indeks bias, dapat dilihat bahwa pada ukuran standar serat optik tipe FD-620-10 ini memiliki nilai 0.4816 yang sesuai dengan teori bahwa pada tipe *multimode step-index* serat optik memiliki nilai NA dari 0.3-0.5. Namun, dengan penggantian *cladding* pada bagian *probe sensing*, terlihat penurunan nilai NA dengan memberikan Larutan NaCl dan juga Larutan Gula sebagai pengganti *cladding* aslinya. Dengan menggunakan larutan NaCl, NA yang terhitung adalah sebesar 0.4185 dan dengan menggunakan larutan Gula, nilainya sebesar 0.2433, dengan asam sitrat menjadi 0.45. Dari perbandingan nilai ini, dapat dilihat bahwa NA semakin kecil dengan semakin besar tingkat indeks bias *cladding*, larutan gula dengan indeks bias mendekati indeks bias *core* pada serat menunjukkan pengurangan yang cukup jauh. Hal ini lah yang menjelaskan adanya penurunan daya karena kemampuan serat optik dalam menangkap cahaya semakin kecil seiring dengan tingginya indeks bias *cladding*. Oleh karena kemampuan menangkap daya cahaya turun, maka intensitas cahaya yang keluar juga turun.

Hubungan tingkap numeric ini didukung dengan  $\theta_0 \text{max}$ . Cahaya yang merambat dalam serat optik ini akan menyebar secara merata ke seluruh ruangan dalam bentuk radial. Dengan demikian, hanya sinar datang dengan sudut lebih kecil dari sudut  $\theta_0 \text{max}$ , agar semakin banyak cahaya yang tepantul di dalam serat optik. Dari hasil perhitungan, terlihat bahwa pada serat optik FD-620-10 asli,  $\theta_0 \text{max}$  nya adalah  $28.68^\circ$ , sedangkan setelah digunakan Larutan NaCl sebagai pengganti *cladding* menurun menjadi  $24.83^\circ$ , lalu untuk asam sitrat  $26.67^\circ$  dan menjadi  $13.88^\circ$  dengan menggunakan Larutan Gula. Dengan semakin kecil nilai  $\theta_0 \text{max}$ , maka membuthkan sinar dengan sudut datang yang lebih kecil lagi, sehingga cahaya yang tertampung di dalam serat optik menjadi lebih kecil, sehingga daya intensitas keluaran juga semakin kecil.

Ketiga, ditinjau dari nilai frekuensi ternormalisasi dan jumlah moda yang terpandu. Frekuensi ternormalisasi berhubungan dengan frekuensi kerja serat optik, semakin tinggi nilai frekuensi, maka akan semakin tinggi pula daya yang dihasilkan. Selain itu, nilai ini juga menunjukkan pertambahan selisih indeks bias kedua medium *core* dan *cladding*. Artinya, semakin besar nilai  $V$ , selisih indeks bias kedua medium juga lebih besar, sehingga cahaya yang terpandu tidak mendekati garis normal. Dari hasil perhitungan, dapat dilihat bahwa pada serat optik FD-620-10 asli, nilai  $V$  nya adalah  $2.18 \times 10^{-11}$ . Kemudian, pada larutan NaCl dihasilkan  $1.89 \times 10^{-11}$ ,  $2.04 \times 10^{-11}$  pada larutan asam sitrat dan pada larutan gula  $1.10 \times 10^{-11}$ . Terlihat terjadi penurunan seiring dengan penambahan kerapatan medium, semakin rapat atau semakin besar nilai indeks bias, nilai  $V$  semakin kecil.

Untuk jumlah moda terpandu, adalah konfigurasi perambatan cahaya di dalam serat optik yang memberikan distribusi medan listrik dalam *transverse* yang stabil dan cahaya dapat dipandu. Teori ini memandang cahaya sebagai gelombang datar dalam arah, amplitudo dan panjang gelombang dari perambatannya. Hanya gelombang dengan sudut datang lebih kecil dari sudut kritis yang dapat merambat sepanjang serat optik dan harus tetap sefase setelah memantul di dalam serat. Jika ada yang tidak sefase, maka akan ada intensitas yang hilang. Artinya, semakin kecil intensitas keluaran terjadi karena pada perambatan banyak muka gelombang yang terpantul tidak sefase, dan hal ini disebabkan indeks bias yang semakin besar (Iga, 1982). Terlihat dari perhitungan bahwa nilai  $M$  pada serat optik FD-620-10 asli  $1.92 \times 10^{-22}$ ,  $1.45 \times 10^{-22}$  untuk larutan NaCl,  $1.69 \times 10^{-22}$  untuk larutan asam sitrat dan  $0.49 \times 10^{-22}$  pada larutan gula. Pada larutan glukosa, jumlah moda yang terpandu sangat kecil dibandingkan dengan pada serat optik asli maupun asam sitrat.

Dari hasil penelitian dengan kedua DC 3x3 di atas, dibuatlah grafik hubungan antara molaritas dengan daya *output* seperti di bawah berikut ini.



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Molaritas Larutan dengan Daya Output

Dari grafik pada gambar 4.3 di atas, memperlihatkan hubungan antara molaritas dengan daya keluaran yang terjadi. Dari hasil tersebut, terlihat bahwa semakin dengan pemberian banyak molaritas larutan, daya *output* yang terlihat semakin kecil, hal ini ditunjukkan dengan *slope* grafik yang menurun. Hal ini sesuai dengan teori bahwa *semakin tinggi molaritas*, mengakibatkan *rugi daya yang semakin besar*, akibat dari penggantian larutan sebagai *cladding*, sehingga daya keluaran akan semakin mengecil. Dengan bertambahnya molaritas, maka larutan yang ada akan memiliki tingkat kerapatan medium tinggi dan indeks bias yang tinggi, menyebabkan sinar datang menjauhi garis normal, sehingga menyebabkan pantulan dalam total yang terjadi tidak sempurna. Akibatnya, banyak daya yang *loss* atau hilang selama perambatan. Dari grafik pula terlihat, *slope* pada larutan glukosa memiliki nilai yang lebih tajam, dan memiliki daya keluaran yang lebih sedikit dibandingkan dengan asam sitrat maupun NaCl.

#### 4.2.2 Analisa Hasil Pengukuran Daya Keluaran terhadap pH Larutan

Penelitian kedua adalah hubungan rugi daya terhadap pH asam dan basa. Larutan HCL 0.1 N dengan pH 1.3 merupakan larutan asam dan larutan NaOH 0.1 N dengan pH 12.8 sebagai larutan basa.

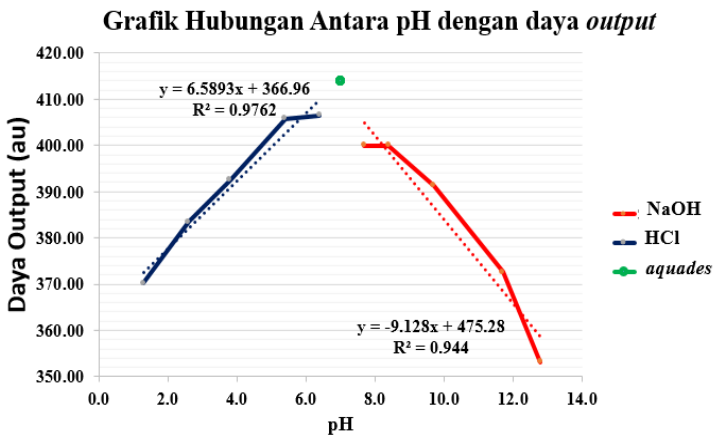
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Daya Output terhadap pH

Larutan	Konsentrasi (N)	pH	Daya Output (au)
HCl	0.10000	1.3	370.15
	0.05000	2.6	383.45
	0.02500	3.8	392.45
	0.01250	5.4	405.75
	0.00625	6.4	406.50
NaOH	0.10000	12.8	353.20
	0.05000	11.7	372.60
	0.02500	9.7	391.35
	0.01250	8.4	400.05
	0.00625	7.7	400.05
aquades	0	7	414.05

Dalam penelitian pH larutan ini, digunakan larutan dengan konsentrasi normalitas, yaitu konsentrasi larutan yang memperhitungkan jumlah berat ion  $H^+$  di dalamnya. Arti 0.1 N dapat dikatakan bahwa jumlah berat ion  $H^+$  di dalam larutan tersebut adalah 0.1 gram per 100 mL.

Dari hasil tabel 4.5 di atas, terlihat bahwa nilai pH berbanding terbalik dengan nilai *output*. Semakin tinggi derajat keasaman pH pada larutan HCl 0.1 N, nilai daya keluaran lebih rendah dibandingkan dengan pada HCl 0.00625 N. Kemudian, pada NaOH juga demikian, semakin tinggi derajat kebasaan pH, semakin rendah pula daya yang keluar. Daya keluaran tertinggi terletak pada pH 7 yang dimiliki aquades.

Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh absorpsi cahaya. Pada HCl dengan derajat keasaman lebih tinggi, lebih banyak memiliki elektron bebas. Demikian halnya dengan NaOH, semakin basa banyak memiliki elektron bebas pula. Elektron bebas ini mampu bergerak acak (ikatannya lemah). Gerak elektron bebas ini mampu menyerap energi foton dari perambatan sinar pada serat.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan pH HCl dengan Daya Output

Dari gambar 4.4 di atas, dapat dilihat bahwa grafik memiliki *slope* dan tingkat akurasi yang cukup baik. Artinya, DC 3x3 ini mampu mendeteksi perubahan pH daerah asam, yaitu antara 0-7. Terlihat bahwa adanya penambahan daya dengan bekurangnya pH keasaman pada larutan HCl. Semakin rendah nilai pH larutan HCl, maka pH akan semakin mendekati nilai pH aquades (pH=7), dan daya yang keluar juga mendekati daya keluaran pada pH aquades. Dengan demikian, bisa dikatakan sensitif untuk bekerja sebagai sensor pH asam.

Demikian pula halnya dengan NaOH. Terlihat apabila derajat kebasaan lebih tinggi, semakin rendah pula daya keluaran yang terlihat. Dari grafik pada gambar 4.4, terlihat bahwa ada kecenderungan *slope* yang menurun dengan semakin tinggi nya tingkat kebasaan larutan. Semakin basa,

daya *output* yang keluar cenderung lebih rendah. Dari *slope* dan keakurasian sudah cukup baik, sehingga DC 3x3 ini telah bekerja dengan baik untuk menjadi sensor kebasaaan.

Dari gambar 4.4, terlihat bahwa nilai *slope* pada larutan NaOH lebih besar dibandingkan dengan HCl, hal ini dibuktikan dengan daya yang terlihat, pada NaOH cenderung memiliki daya yang lebih rendah dibandingkan dengan HCl. Dari kedua gambar pula, terlihat kecenderungan untuk memiliki daya *output* tertinggi pada konsentrasi pH netral atau bernilai 7 (mendekati aquades), di mana pada pH netral tidak terdapat ion – ion tambahan. Artinya, meskipun DC 3x3 belum bisa mengklasifikasikan larutan bersifat asam ataupun basa, namun telah mampu membuktikan untuk sensitif terhadap perubahan pH, baik saat di asam ataupun basa.

Pengaruh adanya ion – ion di dalam larutan berperan dalam penyerapan energi foton. Menurut (Ben-David, 2005), dengan adanya electron bebas dari ion – ion pada larutan yang menyerap foton, akan ikut berinteraksi dan bereaksi dengan *probe sensing* dari serat optik, sehingga mengalami perubahan indeks bias. Penyerapan inilah yang mempengaruhi perubahan indeks bias pada *core*, dan akan berdampak pada proses pemantulan sinar di dalamnya, sehingga daya yang terbentuk semakin rendah saat larutan menjadi semakin basa dan asam. Semakin basa dan asam suatu larutan, semakin banyak ion yang melekat pada *probe sensing* serat optik, sehingga meningkatkan nilai indeks bias pada *cladding* (larutan berperan sebagai *cladding*). Dengan demikian, semakin besar indeks bias *cladding*, maka selisih indeks bias dengan *core* semakin kecil, hal ini lah yang menyebabkan pengurangan daya keluaran, akibat sedikitnya daya yang terpandu di dalam *core* serat optik. Indeks bias HCl sendiri pada umumnya berkisar 1.30 dan NaOH berkisar 1.35.

Selain itu, berdasarkan persamaan 2.42 dan 2.43 di mana pH terlihat sebanding dengan konsentrasi larutan, dan konsentrasi larutan sebanding dengan indeks bias (gambar 2.8), sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa pH turut mempengaruhi indeks bias, semakin tinggi pH baik semakin

asam dan semakin basa, indeks bias juga turut berubah. Perubahan indeks bias inilah yang mempengaruhi rendahnya daya keluaran karena menyebabkan sudut kritis semakin besar.

Selain karena perubahan indeks bias dan tekanan dalam larutan, juga terdapat faktor lain terjadinya rugi daya, yakni gelombang *evanescent*. Gelombang ini menembus bidang batas antara *core* dan larutan uji, yang merupakan pengaruh dari indeks bias sendiri. Semakin besar, perbedaan indeks bias *core* dan larutan, maka akan semakin dalam pula perambatan sinar, sehingga rugi daya yang terjadi semakin besar pula. Gelombang ini akan mengalami absorpsi yang sebanding dengan tingkat konsentrasi atau kerapatan medium larutan.

Dari hasil penelitian, terlihat bahwa *directional coupler* 3x3 hasil fabrikasi ini mampu membagi daya hampir merata untuk tiap *port* keluaran, sehingga dapat dijadikan sensor. Dari hasil uji sebagai sensor kemolaran dan pH, terlihat bahwa semakin tinggi molaritas akan menyebabkan rugi daya yang semakin besar dan DC 3x3 ini terbukti sensitif terhadap perubahan pH, sehingga dapat dikembangkan menjadi sensor pH yang lebih baik di masa mendatang.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



**LAMPIRAN A**  
**Hasil Karakterisasi *Directional Coupler* 3x3 dengan**  
**BF5R-D1-N**

**Hasil Karakterisasi *Directional Coupler* 3x3 pada**  
**Panjang Kupasan 60 mm**

**1. Pada Input Port B1**

FIBER P (60 MM)						
NO	INPUT B1 (au)	OUTPUT			BALIK	
		A2	B2	C2	A1	C1
1	3475	445	458	448	0	0
2		442	456	442	0	0
3		441	451	446	0	0
4		442	452	444	0	0
5		443	458	449	0	0
6		443	452	448	0	0
7		443	456	447	0	0
8		449	452	441	0	0
9		446	454	440	0	0
10		446	456	448	0	0
11		441	457	446	0	0
12		447	459	441	0	0
13		445	453	446	0	0
14		443	456	443	0	0
15		443	454	448	0	0
16		446	457	442	0	0
17		445	453	446	0	0
18		448	455	443	0	0

19		447	452	445	0	0
20		442	458	447	0	0
RATA2		444.35	454.95	445	0	0

**2. Pada Input Port A1**

FIBER P (60 MM)						
NO	INPUT A1 (au)	OUTPUT			BALIK	
		A2	B2	C2	A1	C1
1	3475	478	448	431	0	0
2		472	452	432	0	0
3		472	453	439	0	0
4		461	453	442	0	0
5		460	442	443	0	0
6		459	450	438	0	0
7		463	436	432	0	0
8		466	436	424	0	0
9		465	432	429	0	0
10		455	431	422	0	0
11		451	428	421	0	0
12		450	435	414	0	0
13		446	432	424	0	0
14		452	428	422	0	0
15		446	429	421	0	0
16		448	423	419	0	0
17		442	421	422	0	0
18		453	417	415	0	0
19		442	418	418	0	0
20		452	422	411	0	0

RATA2	456.65	434.3	425.95	0	0
-------	--------	-------	--------	---	---

### 3. Pada Input Port C1

FIBER P(60 MM)						
NO	INPUT C1 (au)	OUTPUT			BALIK	
		A2	B2	C2	A1	C1
1	3475	412	430	452	0	0
2		414	421	450	0	0
3		410	428	452	0	0
4		411	425	448	0	0
5		410	428	444	0	0
6		407	427	432	0	0
7		408	421	442	0	0
8		405	429	433	0	0
9		400	426	437	0	0
10		399	425	438	0	0
11		396	426	436	0	0
12		396	427	431	0	0
13		397	425	435	0	0
14		400	423	436	0	0
15		402	426	439	0	0
16		405	424	440	0	0
17		401	422	442	0	0
18		398	423	441	0	0
19		397	421	442	0	0
20		405	422	440	0	0
RATA2		403.65	424.95	440.5	0	0

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

**LAMPIRAN B**  
**HASIL PENGUKURAN RUGI DAYA DENGAN**  
**BF5R-D1-N**

**A. HASIL PENGUKURAN PADA DAYA KELUARAN**  
**DIRECTIONAL COUPLER (DC) 3X3**

**1. Dengan Menggunakan Udara pada port A2, B2, dan C2**  
**sebagai Cladding**

FIBER P (60 MM)						
NO	INPUT B1 (au)	OUTPUT (au)			BALIK (au)	
		A2	B2	C2	A1	C1
1	3475	431	410	360	0	0
2		432	410	356	0	0
3		433	410	352	0	0
4		434	410	354	0	0
5		430	410	351	0	0
6		434	410	356	0	0
7		435	410	353	0	0
8		432	410	352	0	0
9		433	410	351	0	0
10		432	410	353	0	0
11		431	410	351	0	0
12		436	410	356	0	0
13		429	410	353	0	0
14		430	410	351	0	0
15		433	410	352	0	0
16		432	410	354	0	0
17		431	410	352	0	0
18		430	410	355	0	0

19		433	410	353	0	0
20		434	410	354	0	0
RATA2		432.25	410	353.45	0	0

2. Dengan menggunakan Aquades pada port A2, B2, dan C2 sebagai *cladding*

FIBER P (60 MM)						
NO	INPUT B1 (au)	OUTPUT (au)			BALIK (au)	
		A2	B2	C2	A1	C1
1	3475	404	415	407	0	0
2		401	414	401	0	0
3		400	416	405	0	0
4		399	417	403	0	0
5		398	410	408	0	0
6		397	412	407	0	0
7		397	413	406	0	0
8		395	414	400	0	0
9		395	415	399	0	0
10		396	413	407	0	0
11		399	411	405	0	0
12		402	410	400	0	0
13		400	416	405	0	0
14		397	417	402	0	0
15		398	418	407	0	0
16		396	412	401	0	0
17		398	413	405	0	0
18		397	414	402	0	0
19		399	415	404	0	0

20		400	416	406	0	0
RATA2		398.4	414.05	404	0	0

**3. Dengan menggunakan port A2 NaCl 1 M, B2 asam sitrat 1 M, dan C2 Gula 1 M sebagai cladding**

FIBER P (60 MM)						
NO	INPUT B1 (au)	OUTPUT (au)			BALIK (au)	
		A2	B2	C2	A1	C1
1	3475	365	390	318	0	0
2		368	389	321	0	0
3		363	390	320	0	0
4		369	391	319	0	0
5		364	391	321	0	0
6		363	390	320	0	0
7		365	390	320	0	0
8		362	391	321	0	0
9		367	388	321	0	0
10		360	388	320	0	0
11		364	389	321	0	0
12		363	390	318	0	0
13		364	391	321	0	0
14		360	389	320	0	0
15		362	389	321	0	0
16		360	391	322	0	0
17		355	390	322	0	0
18		358	392	320	0	0
19		360	392	321	0	0

20		361	392	321	0	0
RATA2		362.65	390.15	320.4	0	0

**4. Dengan menggunakan port A2 NaCl 2 M, B2 asam sitrat 2M, dan C2 Gula 2 M sebagai cladding**

FIBER P (60 MM)						
NO	INPUT B1 (au)	OUTPUT (au)			BALIK (au)	
		A2	B2	C2	A1	C1
1	3475	355	375	301	0	0
2		358	370	302	0	0
3		353	372	303	0	0
4		359	371	304	0	0
5		354	368	305	0	0
6		353	371	301	0	0
7		355	372	302	0	0
8		352	370	299	0	0
9		357	370	300	0	0
10		350	369	305	0	0
11		354	373	307	0	0
12		353	370	304	0	0
13		354	370	302	0	0
14		350	374	301	0	0
15		352	371	303	0	0
16		350	372	303	0	0
17		345	371	302	0	0
18		348	372	301	0	0
19		350	371	304	0	0
20		351	370	302	0	0



RATA2	352.65	371.1	302.55	0	0
-------	--------	-------	--------	---	---

**5. Dengan menggunakan port A2 NaCl 3 M, B2 asam sitrat 3 M, dan C2 Gula 3 M sebagai cladding**

FIBER P (60 MM)						
NO	INPUT B1(au)	OUTPUT (au)			BALIK (au)	
		A2	B2	C2	A1	C1
1	3475	335	348	273	0	0
2		335	342	272	0	0
3		336	345	271	0	0
4		333	349	272	0	0
5		332	348	272	0	0
6		334	349	275	0	0
7		331	348	276	0	0
8		330	347	274	0	0
9		333	348	276	0	0
10		332	350	274	0	0
11		334	349	276	0	0
12		335	350	277	0	0
13		336	351	272	0	0
14		332	351	275	0	0
15		331	349	273	0	0
16		331	350	276	0	0
17		332	351	274	0	0
18		331	350	272	0	0
19		332	349	270	0	0
20		331	350	271	0	0
RATA2		332.8	348.7	273.55	0	0

**6. Dengan menggunakan port A2 NaCl 4 M, B2 asam sitrat 4 M, dan C2 Gula 4 M sebagai cladding**

FIBER P (60 MM)						
NO	INPUT B1 (au)	OUTPUT (au)			BALIK (au)	
		A2	B2	C2	A1	C1
1	3475	325	338	230	0	0
2		328	337	232	0	0
3		323	336	229	0	0
4		329	336	231	0	0
5		324	336	231	0	0
6		323	337	230	0	0
7		325	336	229	0	0
8		322	337	230	0	0
9		327	336	231	0	0
10		320	337	230	0	0
11		324	335	228	0	0
12		323	336	232	0	0
13		324	336	229	0	0
14		320	336	229	0	0
15		322	337	228	0	0
16		320	336	229	0	0
17		315	337	227	0	0
18		318	336	230	0	0
19		320	338	228	0	0
20		321	336	232	0	0
RATA2		322.65	336.45	229.75	0	0

**7. Dengan menggunakan port A2 NaCl 5 M, B2 asam sitrat 5 M, dan C2 Gula 5 M sebagai cladding**

FIBER P (60 MM)						
NO	INPUT B1 (au)	OUTPUT (au)			BALIK (au)	
		A2	B2	C2	A1	C1
1	3475	305	320	202	0	0
2		308	320	201	0	0
3		303	321	205	0	0
4		309	320	204	0	0
5		304	319	201	0	0
6		303	321	202	0	0
7		305	322	200	0	0
8		302	320	197	0	0
9		307	321	198	0	0
10		300	322	199	0	0
11		304	321	197	0	0
12		303	320	197	0	0
13		304	321	195	0	0
14		300	320	198	0	0
15		302	321	198	0	0
16		300	321	195	0	0
17		295	322	196	0	0
18		298	321	195	0	0
19		300	321	196	0	0
20		301	322	194	0	0
RATA2		302.65	320.80	198.5	0	0

**8. Dengan menggunakan port A2 HCl 0.1 N, B2 aquades, dan C2 NaOH 0.1 N sebagai cladding**

FIBER P (60 MM)						
NO	INPUT B1 (au)	OUTPUT (au)			BALIK (au)	
		A2	B2	C2	A1	C1
1	3475	365	415	340	0	0
2		364	414	342	0	0
3		365	416	338	0	0
4		366	417	346	0	0
5		366	410	346	0	0
6		365	412	336	0	0
7		365	413	346	0	0
8		366	414	347	0	0
9		363	415	346	0	0
10		363	413	347	0	0
11		364	411	345	0	0
12		365	410	346	0	0
13		366	416	346	0	0
14		364	417	346	0	0
15		364	418	337	0	0
16		366	412	342	0	0
17		365	413	343	0	0
18		367	414	340	0	0
19		367	415	339	0	0
20		367	416	346	0	0
RATA2		365.15	414.05	343.2	0	0

**9. Dengan menggunakan port A2 HCl 0.05 N, B2 aquades, dan C2 NaOH 0.05 N sebagai cladding**

FIBER P (60 MM)						
NO	INPUT B1 (au)	OUTPUT (au)			BALIK (au)	
		A2	B2	C2	A1	C1
1	3475	375	415	390	0	0
2		374	414	382	0	0
3		373	416	388	0	0
4		376	417	390	0	0
5		377	410	391	0	0
6		375	412	386	0	0
7		372	413	391	0	0
8		374	414	390	0	0
9		373	415	391	0	0
10		375	413	390	0	0
11		376	411	391	0	0
12		377	410	391	0	0
13		372	416	392	0	0
14		378	417	391	0	0
15		373	418	387	0	0
16		372	412	385	0	0
17		375	413	386	0	0
18		375	414	390	0	0
19		375	415	389	0	0
20		378	416	390	0	0
RATA2		374.75	414.05	389.05	0	0

**10. Dengan menggunakan port A2 HCl 0.025 N, B2 aquades, dan C2 NaOH 0.025N sebagai cladding**

FIBER P (60 MM)						
NO	INPUT B1 (au)	OUTPUT (au)			BALIK (au)	
		A2	B2	C2	A1	C1
1	3475	405	415	400	0	0
2		404	414	392	0	0
3		403	416	398	0	0
4		406	417	400	0	0
5		407	410	401	0	0
6		405	412	396	0	0
7		402	413	401	0	0
8		404	414	400	0	0
9		403	415	401	0	0
10		405	413	400	0	0
11		406	411	401	0	0
12		407	410	401	0	0
13		402	416	402	0	0
14		408	417	401	0	0
15		403	418	397	0	0
16		402	412	395	0	0
17		405	413	396	0	0
18		405	414	400	0	0
19		405	415	399	0	0
20		408	416	400	0	0
RATA2		404.75	414.05	399.05	0	0

**11. Dengan menggunakan port A2 HCl 0.0125 N, B2 aquades, dan C2 NaOH 0.0125 N sebagai cladding**

FIBER P (60 MM)						
NO	INPUT B1 (au)	OUTPUT (au)			BALIK (au)	
		A2	B2	C2	A1	C1
1	3475	406	415	401	0	0
2		405	414	393	0	0
3		404	416	399	0	0
4		407	417	401	0	0
5		408	410	402	0	0
6		406	412	397	0	0
7		403	413	402	0	0
8		405	414	401	0	0
9		404	415	402	0	0
10		406	413	401	0	0
11		407	411	402	0	0
12		408	410	402	0	0
13		403	416	403	0	0
14		409	417	402	0	0
15		404	418	398	0	0
16		403	412	396	0	0
17		406	413	397	0	0
18		406	414	401	0	0
19		406	415	400	0	0
20		409	416	401	0	0
RATA2		405.75	414.05	400.05	0	0

**12. Dengan menggunakan port A2 HCl 0.00625 N, B2 aquades, dan C2 NaOH 0.00625N sebagai cladding**

FIBER P (60 MM)						
NO	INPUT B1 (au)	OUTPUT (au)			BALIK (au)	
		A2	B2	C2	A1	C1
1	3475	407	415	405	0	0
2		405	414	393	0	0
3		409	416	399	0	0
4		408	417	401	0	0
5		405	410	402	0	0
6		405	412	397	0	0
7		406	413	402	0	0
8		408	414	401	0	0
9		406	415	402	0	0
10		407	413	401	0	0
11		406	411	402	0	0
12		407	410	402	0	0
13		407	416	403	0	0
14		405	417	402	0	0
15		406	418	398	0	0
16		405	412	396	0	0
17		407	413	397	0	0
18		408	414	401	0	0
19		408	415	400	0	0
20		405	416	401	0	0
RATA2		406.5	414.05	400.25	0	0



**13. Dengan menggunakan port A2 NaCl 1 M, B2 NaCl 1 M, dan C2 NaCl 1 M sebagai cladding**

FIBER P (60 MM)						
NO	INPUT B1 (au)	OUTPUT (au)			BALIK (au)	
		A2	B2	C2	A1	C1
1	3475	364	365	364	0	0
2		361	368	358	0	0
3		360	363	362	0	0
4		359	369	360	0	0
5		358	364	365	0	0
6		357	363	364	0	0
7		357	365	363	0	0
8		355	362	357	0	0
9		355	367	356	0	0
10		356	360	364	0	0
11		359	364	362	0	0
12		362	363	357	0	0
13		360	364	362	0	0
14		357	360	359	0	0
15		358	362	364	0	0
16		356	360	358	0	0
17		358	355	362	0	0
18		357	358	359	0	0
19		359	360	361	0	0
20		360	361	363	0	0
RATA2		358.4	362.65	361	0	0

**14. Dengan menggunakan port A2 Asam Sitrat 1 M, B2 asam sitrat 1 M, dan C2 Asam Sitrat 1 M sebagai cladding**

FIBER P (60 MM)						
NO	INPUT B1 (au)	OUTPUT (au)			BALIK (au)	
		A2	B2	C2	A1	C1
1	3475	379	390	382	0	0
2		376	389	376	0	0
3		375	390	380	0	0
4		374	391	378	0	0
5		378	391	383	0	0
6		377	390	382	0	0
7		372	390	381	0	0
8		370	391	375	0	0
9		370	388	374	0	0
10		381	388	382	0	0
11		382	389	380	0	0
12		384	390	375	0	0
13		385	391	380	0	0
14		379	389	377	0	0
15		378	389	382	0	0
16		371	391	376	0	0
17		373	390	380	0	0
18		372	392	377	0	0
19		379	392	379	0	0
20		380	392	381	0	0
RATA2		376.75	390.15	379	0	0

**15. Dengan menggunakan port A2 Gula 1 M, B2 Gula 1 M, dan C2 Gula 1 M sebagai cladding**

NO	INPUT B1(au)	OUTPUT (au)			BALIK (au)	
		A2	B2	C2	A1	C1
1	3475	325	340	330	0	0
2		327	342	331	0	0
3		325	342	328	0	0
4		324	345	332	0	0
5		324	342	331	0	0
6		325	341	333	0	0
7		364	342	334	0	0
8		324	340	332	0	0
9		321	341	335	0	0
10		323	342	336	0	0
11		322	341	333	0	0
12		324	340	335	0	0
13		326	341	332	0	0
14		327	340	335	0	0
15		323	341	331	0	0
16		324	341	330	0	0
17		325	342	334	0	0
18		327	341	335	0	0
19		326	341	335	0	0
20		323	342	333	0	0
RATA2		326.45	341.35	332.75	0	0

**16. Daya Masukan Di Dalam Serat**

NO	Daya <i>Output</i> (au)
1	3475
2	3472
3	3473
4	3474
5	3478
6	3475
7	3473
8	3475
9	3476
10	3477
11	3478
12	3473
13	3475
14	3476
15	3474
16	3472
17	3475
18	3477
19	3475
20	3476
rata -rata	3475





## Sensitivity setting mode

If there are two methods available for sensitivity setting – manual/teaching sensitivity setting. Select the method most suitable for your application.

### Manual sensitivity setting (fine-adjusting sensitivity)

- This setting is to set the sensitivity manually.
- Used to fine-adjust sensitivity after the teaching sensitivity setting.
- Incident light level is still displayed on the PV display part during setting.

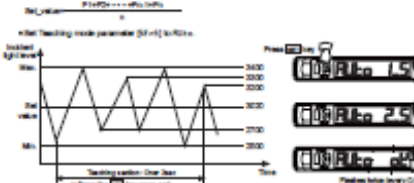


- Press the **0V** key to set the value.
- There is no additional key for completing the setting. If there is no key input for 3sec after completing setting, the set value flashes between 0.0sec and 0.5sec and automatically returns to RLN mode.

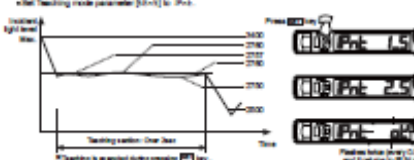
### Teaching sensitivity setting (Auto-teaching, One-point, Two-point, Positioning)

- How to enter into sensitivity setting mode in RLN mode.
- Press the **0V** key once in RLN mode and teaching starts. When teaching is complete, it returns to RLN mode automatically.
- During teaching, the PV display part displays the set teaching mode parameter and the RV display part displays programming status.
- Refer to the below for each teaching sensitivity setting.

- Auto-teaching teach mode
  - Applicable when incident level of sensing object is not stable or when sensing fast moving objects.
  - Auto level automatically sets the sensitivity using the average value of the incident light level within a certain time period.



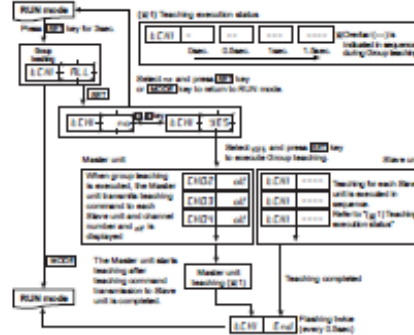
- One-point teach mode
  - One of teaching modes that sets the maximum sensitivity by teaching one sensitivity setting point when setting the RV with no warning object (NoWarning) or when setting the RV with incident light level (C) through beam.
  - Available for the applications required little effect of dust or background.
  - Set Teaching mode parameter (0.0~1.0) to 0.0.



Response Time	Teaching when incident light level is 0	Teaching when incident light level is saturated
0.0s	In case incident light level is 0, set to 1000μV.	In case incident light level is saturated, set to 1000μV.
0.1s	In case incident light level is 0, set to 1000μV.	In case incident light level is saturated, set to 1000μV.
0.2s	In case incident light level is 0, set to 1000μV.	In case incident light level is saturated, set to 1000μV.

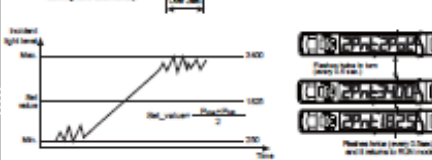
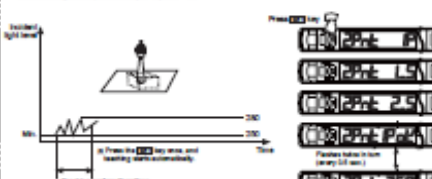
## Group teaching

A function to set the sensitivity of Slave amplifier units according to the command of the Master amplifier unit (series amplifier unit) in a successive and collective way. With case of two-point setting mode, group teaching is not applicable.



### Two-point teach mode

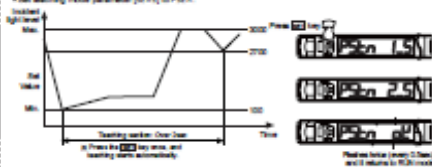
- Available when incident light level is stable or when sensing object is slow or at stopped position.
- One of teaching modes that sets the sensitivity using the average value of two incident light levels obtained from two-point teaching – one point with a sensing object and the other point without a sensing object.
- Set Teaching mode parameter (0.0~1.0) to 0.5.



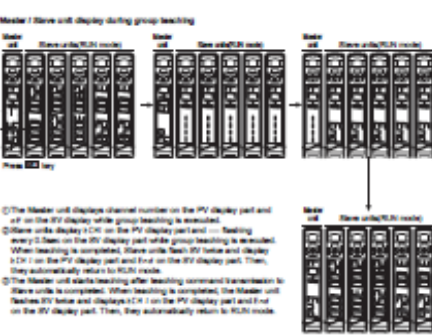
- Make sure that two-point teaching must be done within 10sec after one-point teaching. If not, teaching mode is cancelled and it returns to RLN mode.

### Positioning teach mode

- One of teaching modes that sets the sensitivity to 0.0% of max. incident light level when sensing an object with a hole on the surface (Through-beam) or sensing a moving object having curve (Reflection).
- Set Teaching mode parameter (0.0~1.0) to 0.0.



- Press the **0V** key once, and teaching ends. It returns to RLN mode.







## **BAB V**

### **SIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Simpulan**

Beberapa kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Telah dihasilkan *directional coupler 3x3* sebagai sensor kemolaran larutan NaCl, asam sitrat dan larutan Glukosa. Kemudian larutan HCl dan NaoH sebagai sensor pH. Dengan adanya DC 3x3 sebagai sensor ini, mampu mengkarakterisasi larutan dengan 3 buah variasi jenis larutan sekaligus, sehingga meningkatkan efisiensi *Directional Coupler* sebagai sensor kemolaran
2. Dari hasil pengukuran daya keluaran, didapatkan hubungan antara molaritas serta pH larutan terhadap daya keluaran, yaitu linear. Semakin tinggi molaritas larutan dan semakin basa sifat suatu larutan, maka daya yang keluar akan semakin rendah.

#### **5.2 Saran**

Beberapa saran dari peneliti untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk menggunakan variasi *probe sensing* dimulai dari 0.5 cm, 1 cm, 1.5 cm, dan 2 cm.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan melakukan variasi molaritas dengan selisih yang lebih sedikit, misal 0.5 M untuk mendapat data yang lebih akurat, variasi pH serta menambahkan variasi larutan uji.
3. Pembuatan DC 3x3 konfigurasi segitiga dan *pressing*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, G. P. (2002). *FIBER - OPTIC COMMUNICATION SYSTEMS*. NEW YORK: JOHN WILEY & SONS, INC.
- Ben-David. (2005). *Use of attenuated total reflection infrared spectroscopy for analysis of partitioning of solutes between thin films and solution*. *Anal. Chem*, 77.
- Crisp, J., dan Elliott, B. 2005, *Introduction to Fiber Optics*, Jordan Hill, Oxford
- D.A.Krohn. (2000). *Fiber Optic Sensors: Fundamentals and Applications* (3rd ed.). Pennsylvania: Pennsylvania State University.
- Fang Zujie, e. a. (2012). *Fundamental of Optical Fiber Sensors*. New York: John Wiley & Sons.
- Frederiksen. (2005). *Manual for Sugar solution Prism*. A/S.S.
- Iga, K. S. (1982). *Introduction to Optical Fiber Communication*. USA: John Willey & Sons, Inc.
- Jones Jr, W. B. (1988). *Introduction to optical fiber communication systems*. Michigan: Rinehart & Winston.
- Keiser, G. (1984). *Optical Fiber Communication*. New York: Mc Graw Hil.
- Kholilah, R. A. (2010). Studi Awal Fiber Optik sebagai Sensor pH. *J. Sains Dan Seni ITS*, vol. 2, no. 2, pp. B36–B39.
- Leno, F. (1993). *Introduction to Optics* (2nd ed.). United States America.: Prentice-Hall.
- McMurry, J. (2006). *Fundamentals of Organic Chemistry*. Texas: Cengage Learning.
- Megawati, R. F. (2013). Aplikasi Double Coupler Serat Optik Multimode sebagai Sensor Kemolaran Larutan NaCl. *J. Sains Dan Seni ITS*, vol. 2, no. 2, pp. B46–B49.
- Mubasiroh, A. (2013). Aplikasi Directional Coupler Dan Double Coupler Sebagai Sensor Pergeseran Berdimensi Mikro. *J. Sains Dan Seni ITS*. vol. 2, no. 2, pp. B42–B45

- Pedrotti, F. L. (1993). *Introduction to Optics*. USA: Prentice-Hall International Inc.
- Pramono, Y. H. (2008). Aplikasi Directional Coupler sebagai Sensor Pergeseran. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 4(2).
- Rubiyanto, A. &. (2003). *Optika Terpadu*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Saleh, B. a. (2007). *Fundamentals of Photonics*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Samian, Y. H. (2008). Directional Coupler Sebagai Sensor Pergeseran Mikro. *Procceding SNAF 2008*.
- Sunarno, H. (2000). *Optika Serat*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Supadi, P. Y. (2006). Fabrikasi dan Karakterisasi Directional Coupler sebagai Devais Pembagi Daya (Power Divider) 2. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 060106–1–060106–6.
- Tricker, R. (2002). *Optoelectronic and Fiber Optik Technology*. Oxford: Jordan Hill.
- Yaqin, M. A. (2015). FABRIKASI DAN KARAKTERISASI DIRECTIONAL COUPLER KONFIGURASI  $3\times 3$  PLANAR BERBAHAN SERAT OPTIK PLASTIK STEP-INDEX MODA JAMAK TIPE FD-620-10 . . *J. Sains Dan Seni ITS*, vol. 4, no. 2, pp. B38–B43, 2015
- Yunus, W. M. (1989). Refractive index of solutions at high concentrations. *OSA*.

## BIODATA PENULIS



Penulis berasal lahir di Surabaya, 2 Oktober 1993 dan telah menempuh pendidikan formal di SD Dapena Surabaya, SMPK St. Maria Surabaya dan SMAK St. Hendrikus Surabaya. Penulis diterima di Jurusan Fisika FMIPA-ITS pada tahun 2012 melalui jalur SNMPTN Undangan dan terdaftar dengan NRP 1112100018. Selama menjadi mahasiswa ITS, penulis aktif dalam organisasi mahasiswa yaitu anggota di UKM Olahraga Air dan UKM IFLS (2012-2013), sebagai staff Ristek HIMASIKA ITS (2013-2014), staff DAGRI BEM FMIPA ITS (2013-2014), staff MEDFO AAPG SC ITS (2013-2014), staff Kerohanian KMK ITS (2013-2014), Ketua Departemen *RESEARCH AND SCIENCE DEVELOPMENT* BEM FMIPA ITS (2014-2015), dan Trainer Keilmiah ITS (2015-2016).

Dalam hal akademik, penulis pernah memegang peran sebagai asisten dosen fisika dasar II dan asisten laboratorium fisika laboratorium optoelektronika, asisten dosen Wawasan Teknologi dan Komunikasi Ilmiah. Penulis juga aktif mengikuti kegiatan keilmiah, diantaranya adalah PKMP, PKMK, dan PKM GT didanai DIKTI, Juara 1 PKMN UNSRI, Juara 3 MUN UI, dan Mahasiswa Berprestasi 1 FMIPA ITS.

Waktu luang penulis diisi dengan kegiatan menulis, baik dalam riset, novel, dan puisi di ruangsecita.tumblr. Akhir kata bila ada

kritik dan saran dapat menghubungi penulis melalui : alamat email berikut, yaitu [Aloysiusniko@gmail.com](mailto:Aloysiusniko@gmail.com) atau email lainnya [aloyus.niko12@mhs.physics.its.ac.id](mailto:aloyus.niko12@mhs.physics.its.ac.id) , dan juga via Facebook Aloysius Niko dan Research Gate : Aloysius Niko